

UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA
METROPOLITANA

Casa abierta al tiempo



DIVISIÓN DE CIENCIAS Y ARTES PARA EL DISEÑO

Especialización, Maestría y Doctorado en Diseño

**ESTRATEGIAS DE DISEÑO BIOCLIMÁTICO PARA
AHORRO DE ENERGÍA Y CONFORT HIGROTÉRMICO EN
EDIFICIOS HABITACIONALES EN CLIMAS CÁLIDO
ÁRIDOS. CASO DE ESTUDIO TORREÓN, COAHUILA**

Francisco Fernández Melchor

Tesis para optar por el grado de Maestro en Diseño
Línea de Investigación: Arquitectura Bioclimática

Miembros del Jurado:

Dr. José Roberto García Chávez
Director de Tesis

Dr. Luis Fernando Guerrero Baca
Dr. Ricardo Aguayo González
Dr. Yasuhiro Matsumoto Kuwahara
Dr. Hernando Romero Paredes Rubio

México D.F.
Noviembre de 2011

ESTRATEGIAS DE DISEÑO BIOCLIMÁTICO PARA AHORRO DE ENERGÍA Y CONFORT HIGROTÉRMICO EN EDIFICIOS HABITACIONALES EN CLIMAS CÁLIDO ÁRIDOS. CASO DE ESTUDIO TORREÓN, COAHUILA

**Estrategias de Diseño Bioclimático, Ecológico y Sustentable para el Ahorro
de Energía y Confort Higrotérmico en Edificios Habitacionales en Climas
Cálido Áridos del Norte de la República Mexicana. Caso de Estudio Torreón**



Francisco Fernández Melchor

Dr. José Roberto García Chávez
Director de Tesis



DEDICATORIAS:

La presente tesis se la dedico a mi familia y a mis padres
por su apoyo y confianza. Gracias por ayudarme a cumplir mis objetivos
y por brindarme los recursos necesarios.

AGRADECIMIENTOS:

Mis agradecimientos a la Universidad Autónoma Metropolitana que me brindó la oportunidad para realizar mis estudios de Maestría.

Al Dr. José Roberto García Chávez, Director del Posgrado en Bioclimática y Director de la Tesis; por su paciencia y consejos que me permitieron lograr los objetivos de esta investigación. A las autoridades del CINVESTAV que nos facilitaron el uso de sus instalaciones. A los arquitectos Coatzín, Angélica, y compañeros del posgrado por su ayuda en la realización de este proyecto,

A COVINTEC, al Lic. Alberto Vázquez Director de Glass Block Products FOAMGLAS, a Grupo Calidra por su valioso e invaluable apoyo para la realización de este trabajo.

RESUMEN

La generación y del consumo de energía en México, así como del desarrollo que ha atravesado la humanidad para llegar a la creciente demanda de energéticos en la actualidad, fueron tomados en cuenta para contar con un panorama amplio sobre las acciones necesarias para el uso eficiente de los recursos de nuestro país. De esta manera, se puede vislumbrar la urgente necesidad de reformas que provean de un mayor cuidado y aprovechamiento de la energía utilizada por la vivienda habitada por sectores económicamente más vulnerables y desfavorecidos mediante energías renovables y así como la aplicación de tecnologías para el desarrollo sustentable. Tomando en cuenta el entorno y procurando el cuidado del medio ambiente.

En esta investigación se desarrollaron y probaron diferentes estrategias de diseño ecológico y sustentable para viviendas de interés social ubicadas en el Norte de la República Mexicana con un clima predominantemente cálido árido en donde el consumo eléctrico se incrementa notablemente por el uso indiscriminado de sistemas mecánicos de climatización artificial. Se propone sustituir estos equipos eléctricos por sistemas pasivos de acondicionamiento ambiental que no representan ningún consumo de energía y que no afectan el medio ambiente al no producir ningún tipo de emisión que favorezca al Calentamiento Global, proporcionando a los espacios un Confort Higrotérmico Integral. La experimentación con medios pasivos como Ductos Enterrados, Torre Eólica y otros; demostraron la efectividad de los sistemas tradicionales en arquitectura.

ABSTRACT

The power generation and energy consumption in Mexico, as of the development humanity has gone through to reach the growing demand for energy today, were taken into account to have a broad overview on the necessary actions for efficient use of resource management in our country. So, one can grasp the urgent need for reforms that provide that would permit greater care and a better use of the energy needed in households inhabited by the economically most vulnerable and disadvantaged sectors that use renewable energy and deploying sustainable development, taking into account the environment and seeking care for the environment.

This research developed and tested several different sustainable ecological and social housing design strategies for sites located in the Mexican Republic North; where a predominantly warm arid climate remarkably increased power consumption by the indiscriminate use of mechanical systems, such as artificial air conditioning.

It is proposed to replace these passive electrical equipment for environmental conditioning which use no energy and don't affect the environment by not producing any emissions conducive to global warming, providing spaces with an Integral hygrothermal Comfort. Experimentation with different passive means, such as Buried Pipelines, Wind Towers and others, proved the effectiveness of traditional architecture.

ÍNDICE GENERAL

ESTRATEGIAS DE DISEÑO PARA AHORRO DE ENERGÍA Y CONFORT HIGROTÉRMICO EN EDIFICIOS HABITACIONALES EN CLIMAS CÁLIDO ÁRIDOS

	Pág.
Dedicatorias.....	III
Agradecimientos.....	IV
Resumen.....	V
Abstract.....	VI
Índice General.....	VII
Índice de Figuras.....	XVII
Índice de Tablas.....	XXXII

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES E INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes sobre Arquitectura Bioclimática.....	2
1.2 Planteamiento y Delimitación del Problema.....	5
1.3 Objetivos.....	6
1.4 Hipótesis General.....	7
1.5 Motivación para Elaborar la Investigación.....	8

1.6 Metodología.....	9
----------------------	---

1.7 Introducción y Síntesis de los Capítulos.....	10
---	----

CAPÍTULO 2

EL HOMBRE, LA ARQUITECTURA Y EL CONSUMO ENERGÉTICO A TRAVÉS DEL TIEMPO

2.1 El Hombre y los Recursos Energéticos.....	15
---	----

2.2 La Revolución Industrial, el Desarrollo Económico, Social, la Contaminación en las Ciudades Modernas y el Cambio Climático.....	19
--	----

2.3 La Producción Energética a Nivel Mundial.....	25
---	----

2.4 Arquitectura, Energía y Diseño Sustentable.....	30
---	----

CAPÍTULO 3

ACCIONES NACIONALES E INTERNACIONALES PARA EL USO EFICIENTE DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS

3.1 Tratados Internacionales en contra del Calentamiento Global y la Reducción de Emisiones CO ₂ . Protocolo de Kioto y Bonos de Carbono.....	40
--	----

3.2 Norma Europea y Sistema Americano de Estandarización de Construcciones Ecológicas (LEED).....	43
--	----

3.3 Estrategia Nacional contra el Cambio Climático, Normatividad en México sobre el Uso Eficiente de la Energía e Hipoteca Verde.....	48
--	----

3.4 Cambio Climático y Problemas Ambientales en México.....	50
---	----

CAPÍTULO 4

NORMATIVIDAD ENERGÉTICA EN MÉXICO

4.1 Propuestas para el Uso Eficiente de la Energía en México.....	55
---	----

4.2 Acciones y Planes para el Ahorro Energético en México.....	57
--	----

4.3 Norma para el Ahorro Energético en los Edificios NOM 008 y Vivienda NOM 020.....	60
---	----

CAPÍTULO 5

CONSUMO ENERGÉTICO DE LA VIVIENDA EN MÉXICO

5.1 Problemática Actual de la Energía en México.....	65
--	----

5.2 Consumo Energético por Sector y Tipo.....	67
---	----

5.3 Tarifas de Cobro para el Sector Doméstico según la Temperatura de la Región.....	70
---	----

5.4 Consumo Energético en Climas Cálido Secos y su Localización.....	72
--	----

CAPÍTULO 6**ANÁLISIS CLIMÁTICO DE LA CIUDAD DE MÉXICO; ÁREA DE PRUEBAS EN CINVESTAV Y MÓDULOS EXPERIMENTALES**

6.1 Análisis Climático de la Ciudad de México.....	76
6.1.2 Temperatura.....	78
6.1.3 Humedad.....	79
6.1.4 Precipitación Pluvial.....	80
6.1.5 Días Grado.....	81
6.1.6 Índice Ombrotérmico.....	81
6.1.7 Radiación Solar.....	82
6.1.8 Viento.....	82
6.2 Área de Experimentación y Módulos de Prueba en la Ciudad de México.....	88
6.3 Metodología Experimental.....	96

CAPÍTULO 7**EXPERIMENTACIÓN EN SISTEMAS ALTERNATIVOS DE ACONDICIONAMIENTO AMBIENTAL PARA CLIMAS CÁLIDO SECOS**

7.1 Uso de Sistemas de Enfriamiento Conductivo Subterráneo y Ventilación Natural en la Arquitectura Tradicional.....	106
--	-----

7.1.2 Planteamiento de la Hipótesis.....	107
7.1.3 Sistema de Calentamiento Conductivo Subterráneo y Ventilación Natural (invierno).....	109
7.1.4 Análisis e Interpretación de Resultados en Invierno.....	111
7.1.5 Sistema de Enfriamiento Conductivo Subterráneo y Ventilación Natural (Primavera).....	113
7.1.6 Análisis e Interpretación de Resultados en Primavera.....	115
7.1.7 Conclusiones del Uso de Sistemas de Calentamiento y Enfriamiento Conductivo Subterráneo.....	117
7.1.8 Análisis Comparativo de Modelos Experimentales por Simulación Computacional y Hojas de Cálculo.....	118
7.1.9 Resultados del Análisis Comparativo Durante la Prueba de Enfriamiento Conductivo Subterráneo en Invierno y Primavera.....	121
7.2 Uso de Captador Eólica y Ventilación Natural.....	122
7.2.2 Planteamiento de la Hipótesis.....	123
7.2.3 Enfriamiento y Ventilación Natural por Captador Eólico.....	124
7.2.4 Análisis e Interpretación de Resultados de Captador Eólico.....	126
7.2.7 Conclusiones del Uso de Sistemas Captador de Viento (Torre Eólica).....	128

7.2.8 Análisis Comparativo de Modelos Experimentales por Simulación de Flujo Dinámico Computacional CFD.....	129
7.3 Uso de Control Térmico Conductivo en la Envolvente en Módulo Experimental.....	131
7.3.2 Planteamiento de la Hipótesis.....	133
7.3.3 Control Térmico Conductivo en Muro Oeste.....	136
7.3.4 Análisis e Interpretación de Resultados de Control Térmico Conductivo en Muro Oeste.....	138
7.3.5 Control Térmico Conductivo en Muro Oeste y Losa de Azotea.....	140
7.3.6 Análisis e Interpretación de Resultados de Control Térmico Conductivo en Muro Oeste y Losa de Azotea.....	142
7.3.7 Conclusiones del Uso de Control Térmico Conductivo.....	144
7.3.8 Análisis Comparativo de Modelos Experimentales por Simulación Térmica de Módulos Experimentales.....	145
7.4 Manejo del Enfriamiento Evaporativo Directo.....	150
7.4.2 Planteamiento de la Hipótesis.....	151
7.4.3 Enfriamiento Evaporativo Directo.....	152
7.4.4 Análisis e Interpretación de Resultados en Prueba de Enfriamiento Evaporativo Directo.....	154

7.4.5 Conclusiones del Uso del Enfriamiento Evaporativo Directo.....	156
--	-----

7.4.6 Simulación de Enfriamiento Evaporativo en el Diagrama Psicrométrico ...	157
---	-----

CAPÍTULO 8

CASO DE ESTUDIO: TORREÓN, COAHUILA; ANÁLISIS DEL SITIO EN UNA REGIÓN CON CLIMA CÁLIDO SECO

8.1 Análisis del Sitio; Torreón, Coahuila.....	161
--	-----

8.1.2 Topografía.....	162
-----------------------	-----

8.1.3 Edafología.....	162
-----------------------	-----

8.1.4 Geología.....	163
---------------------	-----

8.1.5 Vegetación.....	163
-----------------------	-----

8.1.6 Hidrografía.....	164
------------------------	-----

8.1.7 Uso de suelo.....	164
-------------------------	-----

8.1.8 Asoleamiento.....	165
-------------------------	-----

8.1.9 Aspectos Visuales y Paisaje.....	165
--	-----

8.2 Clasificación Climática.....	167
----------------------------------	-----

8.3 Análisis Climático de Torreón Coahuila.....	167
---	-----

8.3.1 Temperatura.....	169
------------------------	-----

8.3.2 Humedad.....	170
--------------------	-----

8.3.3 Precipitación Pluvial.....	171
8.3.4 Días Grado.....	172
8.3.5 Índice Ombrotérmico.....	172
8.3.6 Radiación Solar.....	173
8.3.7 Viento.....	173
8.4 Propuestas de Diseño Bioclimático, Carta Bioclimática y Psicrométrica.....	175

CAPÍTULO 9

VIVIENDA BIOCLIMÁTICA; SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO Y CONSUMO ELÉCTRICO DE ACUERDO A HORARIOS DE USO POR EQUIPOS ELECTRODOMÉSTICOS Y ALUMBRADO

9.1 Orientación de la Vivienda.....	181
9.2 Dispositivos de Control Solar.....	183
9.3 Inercia Térmica y Masividad.....	185
9.4 Análisis Térmico de la Vivienda Bioclimática.....	187
9.5 Análisis Térmico de la Vivienda Común.....	190
9.6 Consumo Eléctrico en las Viviendas.....	193
9.7 Simulación de Sistemas Pasivos Experimentales en la Vivienda Bioclimática.....	198

9.8 Simulación de Sistemas Alternativos de Acondicionamiento Ambiental en la Vivienda Bioclimática para Periodo de Bajocalentamiento.....	199
9.8.1 Calentamiento conductivo (Bajocalentamiento el 11 de Enero).....	200
9.8.2 Control Térmico en la Envolvente (Bajocalentamiento el 11 de Enero)....	203
9.8.3 Dispositivos de Control Solar (Bajocalentamiento el 11 de Enero).....	204
9.8.4 Resultados de la Aplicación de Sistemas Pasivos de Acondicionamiento Ambiental en la Vivienda en Bajocalentamiento.....	206
9.9 Sistemas Alternativos de Acondicionamiento Ambiental en la Vivienda Bioclimática para Periodo de Sobrecalentamiento.....	208
9.9.1 Enfriamiento Conductivo (Sobrecalentamiento el 19 de Marzo).....	208
9.9.2 Control Térmico en la Envolvente (Sobrecalentamiento 19 de Marzo).....	211
9.9.3 Dispositivos de Control Solar (Sobrecalentamiento el 19 de Marzo).....	213
9.9.4 Resultado de la Aplicación de Sistemas Pasivos de Acondicionamiento Ambiental en la Vivienda en Sobrecalentamiento.....	215
Conclusiones.....	216
Referencias.....	219
Bibliografía.....	220
Bibliografía Electrónica.....	223

ANEXOS

Anexo I Dispositivos de Control Solar.....	225
Anexo II Especificaciones de Panel COVINTEC.....	234
Anexo III Especificaciones de Extractor.....	237
Anexo IV Especificaciones de Panel Aislante.....	239
Anexo V Consumo de Electrodomésticos en la Vivienda de Interés Social y Planos Arquitectónicos.....	241

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

EL HOMBRE, LA ARQUITECTURA Y EL CONSUMO ENERGÉTICO A TRAVÉS DEL TIEMPO

Figura 1. Evolución del Hombre.....	15
Figura 2. Calendario Cósmico de Carl Sagan.....	18
Figura 3. Variación Promedio Mundial de la Temperatura.....	21
Figura 4. Emisiones Mundiales de GEI Antropogénico.....	22
Figura 5. Aumento de la Temperatura Mundial y Continental.....	23
Figura 6. Exportaciones Mundiales de Petróleo Crudo.....	25
Figura 7. Principales Países Productores de Crudo.....	26
Figura 8. Reservas Mundiales de Gas Natural.....	27
Figura 9. Producción Mundial de Gas Natural.....	27
Figura 10. Generación Mundial de Electricidad.....	29
Figura 11. Generación de Electricidad Per Cápita.....	29
Figura 12. Generación de Electricidad Proveniente de Diversas Fuentes.....	29
Figura 13. Torres Eólicas de la Antigua Persia.....	31
Figura 14. Diseño Solar de las Antiguas Ciudades Griegas.....	32

Figura 15. Parque Nacional Mesa Verde	33
Figura 16. CAAG Tower.....	34
Figura 17. Mesiniaga Tower.....	34
Figura 18. Elephant & Castle Eco-Tower.....	35
Figura 19. Escuela de Arte, Diseño y Medios.....	36
Figura 20. Proyecto de Eco-complejo.....	37
Figura 21. Torre del Eco-complejo.....	38
Figura 22. Complejo de Siete Edificios en Singapur.....	38

CAPÍTULO 3

ACCIONES NACIONALES E INTERNACIONALES PARA EL USO EFICIENTE DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS

Figura 23. Escenarios de Emisiones de GEI Entre 2000 y 2100 en Ausencia de Políticas Climáticas Adicionales.....	40
Figura 24. Cantidad Predicha de Calentamiento Global Evitado.....	41
Figura 25. Categorías de BREEAM.....	44
Figura 26. Categorías LEED.....	45
Figura 27. Contaminación en la Ciudad de México.....	50
Figura 28. Huracán Henriette.....	51

Figura 29. Inundaciones en Tabasco.....	52
---	----

CAPÍTULO 4

NORMATIVIDAD ENERGÉTICA EN MÉXICO

Figura 30. Zonas de Riesgo Vulnerables a Huracanes en México.....	54
---	----

Figura 31. Principales Puntos para El Desarrollo de Bioenergéticos.....	58
---	----

CAPÍTULO 5

CONSUMO ENERGÉTICO DE LA VIVIENDA EN MÉXICO

Figura 32. Producto Interno Bruto.....	64
--	----

Figura 33. Producción de Energía Primaria.....	65
--	----

Figura 33. Consumo Final de Energía por Sector y Tipo.....	67
--	----

Figura 34. Consumo de Energía en Petajoules por Rama.....	68
---	----

Figura 35. Consumo de Energía Porcentual por Rama.....	68
--	----

Figura 36. Zonas Climáticas de la República Mexicana.....	72
---	----

CAPÍTULO 6

ANÁLISIS CLIMÁTICO DE LA CIUDAD DE MÉXICO; ÁREA DE PRUEBAS EN CINVESTAV Y MÓDULOS EXPERIMENTALES

Figura 37a y b. Gráfica de Temperaturas Mensuales.....	78
--	----

Figura 38a y b. Gráfica de Humedades Mensuales.....	79
---	----

Figura 39a y b. Gráfica de Precipitación Pluvial Mensual.....	80
Figura 40. Gráfica Días Grado.....	81
Figura 41. Gráfica de Índice Ombrotérmico.....	81
Figura 42. Gráfica de Radiación Solar.....	82
Figura 43. Gráfica Anual de Viento.....	82
Figura 44a y b. Carta Bioclimática para la Ciudad de México.....	84
Figura 45a. Carta Psicrométrica de México, Primer Semestre.....	85
Figura 45b. Carta Psicrométrica de México, Segundo Semestre.....	86
Figuras 46a y b. Triángulos de Evans.....	87
Figura 47. Unidad del CINVESTAV	88
Figura 48a y 48b. Área de Construcción de los Módulos de Prueba.....	89
Figura 49. Plancha de Concreto y Varillas de Anclaje Para Panel COVINTEC.....	90
Figura 50. Módulo Panel COVINTEC Ensamblado y Reforzado.....	91
Figura 51. Aplanado de Mortero Cemento-Arena.....	92
Figura 52. Mangueras para Instalación Eléctrica.....	92
Figura 53. Cimbra y Apuntalamiento para Colado de Losa.....	92
Figura 54. Acabado Fino en Muros.....	92

Figura 55. Aplicación de Pintura de Cal en Módulos.....	92
Figura 56. Uso de Impermeabilizante de Cal y Nopal (Losa).....	92
Figura 57. Placas de Poliestireno en Módulos.....	93
Figura 58. Orientación y Análisis de Asoleamiento del Conjunto de Módulos de Pruebas (31 de Diciembre 16:49hrs).....	94
Figura 59. Nomenclatura e Identificación de los Módulos de Pruebas.....	95
Figura 60. Pantalla de Stevenson.....	97
Figura 61. Gráfica de Temperatura de Bulbo Seco en Día Crítico Durante Calibración.....	98
Figura 62. Vista del Área de Experimentación y Módulos de Prueba.....	98
Figura 63. Módulo Control (MC)	100
Figura 64. Módulo de Pruebas 2 (MP2)	100
Figura 65. Módulo de Pruebas 3 (MP3)	100
Figura 66. Gráfica de Temperatura de Bulbo Seco en MC, MP2 y MP3 Durante Prueba de Calibración.....	100

CAPÍTULO 7

EXPERIMENTACIÓN EN SISTEMAS ALTERNATIVOS DE ACONDICIONAMIENTO AMBIENTAL PARA CLIMAS CÁLIDO SECOS

Figura 67. Enfriamiento y Calentamiento Conductivo del Aire.....	103
Figura 68. Captador Eólico.....	103
Figura 69. Control Térmico Conductivo en la Envolvente.....	104
Figura 70. Enfriamiento Evaporativo.....	104
Figura 71. Dispositivos de Control Solar al Sur y al Oeste.....	105
Figura 72. Sistemas de Enfriamiento Conductivo Subterráneo.....	106
Figura 73. Sistema Subterráneo de Ductos en Contacto con el Terreno.....	107
Figura 74. Zanja para Ducto Enterrado en Módulo de Pruebas 2	109
Figura 75. Gráfica de Temperatura de Bulbo Seco al exterior (Pantalla), MC y MP2 durante periodo de 10 días para ductos Enterrados en Invierno.....	109
Figura 76. Módulo de Pruebas 2 (MP2) y Calentamiento Conductivo del Aire.....	110
Figura 77. Gráfica de Temperatura de Bulbo Seco en Día Crítico de Invierno....	110
Figura 78 a y b. Entrada de Aire A Ducto y Salida de Ducto al Interior del Módulo.....	110
Figura 79. Zanja a 1.6 Metros de Profundidad.....	112

Figura 80. Gráfica de Temperatura de Bulbo Seco en Aire Exterior, Interior y Tierra Durante Periodo de 10 Días para Ductos Enterrados en Invierno.....	112
Figura 81. Módulo de Pruebas 2 (MP2).....	113
Figura 82. Gráfica de Temperatura de Bulbo Seco al exterior (Pantalla), MC y MP2 Durante Periodo de 10 Días para Ductos Enterrados en Primavera.....	113
Figura 83. Módulo de Pruebas 2 (MP2) y Enfriamiento Conductivo del Aire.....	114
Figura 84. Gráfica de Temperatura de Bulbo Seco en Día Crítico en Primavera.....	114
Figura 85 a y b. HOB0 2 Dentro de MP2.....	114
Figura 86. Sonda que mide la Temperatura del Aire a la Salida del Tubo.....	116
Figura 87. Gráfica de Temperatura de Bulbo Seco en Aire exterior, Interior y Tierra Durante Periodo de 10 Días para Ductos Enterrados en Primavera.....	116
Figura 88. Torres Eólicas de la Actual Región Central de Irán.....	122
Figura 89. Módulo de Pruebas 2 (MP2) con Torre Eólica.....	124
Figura 90. Gráfica de Temperatura de Bulbo Seco al Exterior (Pantalla), MC y MP2 Durante Periodo de 10 Días en Prueba de Torre Eólica.....	124
Figura 91. Imagen Virtual de Módulo de Pruebas 2 (MP2) y Torre Eólica.....	125
Figura 92. Gráfica de Temperatura de Bulbo Seco en Día Crítico.....	125

Figura 93 a y b. Sondas para Detección de la Temperatura del Aire en Torre Eólica.....	125
Figura 94. Sonda que Mide la Temperatura del Aire en Captador Eólico.....	127
Figura 95. Gráfica de Temperatura de Bulbo Seco en Aire Exterior y Aire Interior en Captador Eólico Durante Periodo de 10 Días.....	127
Figura 96. Flujo Dinámico Computacional para Prueba de Captador Eólico en Planta.....	129
Figura 97. Flujo Térmico para Prueba de Captador Eólico en Planta.....	130
Figura 98. Módulo de Pruebas 2 el 6 de Abril de 2011 a las 12:30 hrs.....	134
Figura 99. Módulo de Pruebas 2 el 6 de Abril de 2011 a las 13:30 hrs.....	134
Figura 100. Módulo de Pruebas 2 el 6 de Abril de 2011 a las 18:45 hrs.....	135
Figura 101. Cubierta de Módulo de Pruebas 2	135
Figura 102 Instalación de Paneles Aislantes en Módulo de Pruebas 2 (MP2)....	136
Figura 103. Gráfica de Temperatura de Bulbo Seco al Exterior (Pantalla), MC y MP2 Durante Periodo de 10 Días en Prueba de Aislante Térmico en Muro Oeste.....	136
Figura 104. Módulo de Pruebas 2 con Aislante en Muro y Módulo Control.....	137
Figura 105. Gráfica de Temperatura de Bulbo Seco en Día Crítico en Prueba...	137
Figura 106. Sondas para Detección de la Temperatura en el Muro Oeste.....	137

Figura 107. Sonda que Mide la Temperatura al Centro del Muro Oeste.....	139
Figura 108. Gráfica de Temperatura de Bulbo Seco en Muro Oeste en Módulo Control (MC) y Módulo de Pruebas 2 (MP2)	139
Figura 109. Paneles Aislantes sobre Azotea del Módulo de Pruebas 2 (MP2)....	140
Figura 110. Gráfica de Temperatura de Bulbo Seco al Exterior (Pantalla, MC y MP2 Durante Periodo de 10 Días para la Prueba de Aislante en Muro y Azotea.....	140
Figura 111. Módulo de Pruebas 2 con Aislante en Muro y Azotea.....	141
Figura 112. Gráfica de Temperatura de Bulbo Seco en Día Crítico.....	141
Figura 113. Placa de Foamglas y Disposición Aislante para Azotea.....	141
Figura 114. Sonda que mide la Temperatura al Centro del Lecho Bajo.....	143
Figura 115. Gráfica de Temperatura de Bulbo Seco en Losa de Módulo Control (MC) y Módulo de Pruebas 2 (MP2)	143
Figura 116. Simulación Térmica de Módulo de Pruebas 2.....	145
Figura 117. Muros de Módulo de Pruebas 2.....	146
Figura 118. Muro Oeste de Módulo de Pruebas 2.....	147
Figura 119. Losa de Azotea de Módulo de Pruebas 2.....	148
Figura 120. Simulación Térmica de Módulo de Pruebas 2.....	149

Figura 121. Gráfica de Temperatura de Bulbo Seco En Lecturas Experimentales y Simulación de Condiciones Exteriores e Interiores.....	149
Figura 122. Cortina Húmeda de Cartón.....	150
Figura 123. Cortina Húmeda y Dispositivo de Control Solar.....	152
Figura 124. Gráfica de Temperatura de Bulbo Seco al Exterior (Pantalla), MC y MP2 Durante Periodo de 10 Días en la Prueba de Enfriamiento Evaporativo....	152
Figura 125. Humidificación dentro del Módulo de Pruebas 2.....	153
Figura 126. Gráfica de Temperatura de Bulbo Seco en Día Crítico de Mayo.....	153
Figura 127 a y b. Humidificación de Cortina con Aspersor.....	153
Figura 128. Cortina Mojada en Módulo de Pruebas 2.....	155
Figura 129. Gráfica de Humedad Relativa en Pantalla de Stevenson, Módulo Control (MC) y Módulo de Pruebas 2 (MP2)	155
Figura 130. Diagrama Psicrometrico y HR-Tbs al Exterior y MC.....	158
Figura 131. Gráfica de Temperatura de Bulbo Seco y Humedad Relativa en Módulo Control (MC)	158
Figura 132. Diagrama Psicrometrico y HR-Tbs en MC y MP2.....	159
Figura 133. Gráfica de Temperatura de Bulbo Seco y Humedad Relativa en Módulo de Pruebas 2 (MP2)	159

CAPÍTULO 8**CASO DE ESTUDIO: TORREÓN, COAHUILA; ANÁLISIS DEL SITIO EN UNA REGIÓN CON CLIMA CÁLIDO SECO**

Figura 134. Localización Geográfica de Torreón Coahuila.....	161
Figura 135. Topografía de la Ciudad de Torreón y Poblaciones Aledañas.....	162
Figura 136. Mapa Edafológico de la Ciudad de Torreón.....	162
Figura 137. Mapa Geológico de la Ciudad de Torreón.....	163
Figura 138. Mapa de Vegetación de la Ciudad de Torreón.....	163
Figura 139. Foto de Satélite de Torreón.....	164
Figura 139. Uso de Suelo de la Ciudad de Torreón.....	164
Figura 141. Asoleamiento en la Ciudad de Torreón.....	165
Figura 142. Elementos Visuales de la Ciudad de Torreón.....	165
Figura 143a y b. Gráfica de Temperaturas Mensuales.....	169
Figura 144a y b. Gráfica de Humedades Mensuales.....	170
Figura 145a y b. Gráfica de Precipitación Pluvial Mensual.....	171
Figura 146. Gráfica Días Grado.....	172
Figura 147. Gráfica de Índice Ombrotérmico.....	172
Figura 148. Gráfica de Radiación Solar.....	173

Figura 149. Gráfica Anual de Viento.....	173
Figuras 150 a, b, c, d, e, h, i. Estrategias de Diseño.....	175
Figura 151. Carta Bioclimática para la Ciudad de Torreón.....	176
Figura 152a. Carta Psicrométrica de Torreón, Primer Semestre.....	177
Figura 152b. Carta Psicrométrica de Torreón, Segundo Semestre.....	178
Figuras 153a y b. Triángulos de Evans.....	179

CAPÍTULO 9

VIVIENDA BIOCLIMÁTICA; SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO Y CONSUMO ELÉCTRICO DE ACUERDO A HORARIOS DE USO POR EQUIPOS ELECTRODOMÉSTICOS Y ALUMBRADO

Figura 154. La Vivienda en Torreón Coahuila.....	182
Figura 155. Gráfica Solar Estereográfica de Primer y Segundo Semestre.....	183
Figura 156. Protección Solar para Horas de Sobrecalentamiento.....	184
Figura 157. Ganancias Solares para Horas de Bajocalentamiento.....	184
Figura 158. Masividad en los Materiales de la Envolvente.....	185
Figura 159. Inercia Térmica.....	186
Figura 160. Materiales para Cubierta.....	187

Figuras 161 a, b y c. Resultados de Temperatura Interior y Exterior Durante Época Cálida (Vivienda Bioclimática).....	188
Figuras 162 a, b y c. Resultados de Temperatura Interior y Exterior Durante Época Gélida (Vivienda Bioclimática).....	189
Figuras 163 a, b y c. Resultados de Temperatura Interior y Exterior Durante Época Cálida (Vivienda Común).....	191
Figuras 164 a, b y c. Resultados de Temperatura Interior y Exterior Durante Época Gélida (Vivienda Común).....	192
Figura 165. Vivienda Bioclimática en Torreón Coahuila.....	194
Figura 166 y 167. Consumo Eléctrico en Época Cálida y Consumo Eléctrico Total Anual (Vivienda Común).....	195
Figura 168 y 169. Consumo Eléctrico en Época Cálida y Consumo Eléctrico Total Anual (Vivienda Bioclimática).....	197
Figura 170. Orientación Sureste y Dispositivos de Control Solar en Fachada....	199
Figura 171. Sistema de Calentamiento Conductor en la Vivienda.....	202
Figura 172. Penetración Solar Durante Época de Bajocalentamiento.....	205
Figura 173. Gráfica Estereográfica y Porcentaje de Sombreado Sureste.....	205
Figura 174. Control Solar con Vegetación Usando un Árbol Caducifolio.....	206

Figura 175. Gráfica de Temperatura de Bulbo Seco el 11 de Enero.....	207
Figura 176. Sistema de Calentamiento Conductivo en la Vivienda en Sobrecalentamiento.....	209
Figura 177. Aislante Térmico en Losa de Azotea.....	212
Figura 178. Protección Solar Durante Sobrecalentamiento.....	214
Figura 179. Estereográfica y Porcentaje de Sombreado al Sureste.....	214
Figura 180. Gráfica de Temperatura de Bulbo Seco el 19 de Marzo.....	215

ANEXO I

DISPOSITIVOS DE CONTROL SOLAR

Figura A1. Sombreado de Dispositivo Sur.....	225
Figura A2. Sombreado de Dispositivo Oeste.....	225
Figura A3. Volado en Orientación Sur en Módulo de Pruebas 3.....	226
Figura A4. Gráfica de Temperatura de Bulbo Seco al Exterior (Pantalla de Stevenson), MC y MP3 por Periodo de 10 Días Durante el Uso de Dispositivo de Control Solar Sur.....	226
Figura A5. Insolación en Cara Sur en Módulo de Pruebas 3.....	227
Figura A6. Gráfica de Temperatura de Bulbo Seco en Día Crítico (Volado).....	227

Figura A7. Dispositivo de Control Sur y Penetración Solar al Interior sin Dispositivo.....	227
Figura A8. Simulación de Dispositivo Sur a 12:15hrs.....	228
Figura A9. Gráfica de Temperatura de Bulbo Seco Real y Simulada Durante el Uso de Dispositivo de Control Solar al Sur.....	228
Figura A10. Gráfica Estereográfica para Sombreado de Dispositivo de Control Sur.....	229
Figura A11. Partesoles en Orientación Oeste en Módulo de Pruebas 2.....	230
Figura A12. Gráfica de Temperatura de Bulbo Seco al Exterior (Pantalla de Stevenson), MC y MP2 por Periodo de 10 Días Durante el Uso de Dispositivo de Control Solar Oeste.....	230
Figura A13. Módulo de Pruebas Cara Oeste.....	231
Figura A14. Gráfica de Temperatura de Bulbo Seco en Día Crítico (Partesoles).....	231
Figura A15a y b. Partesoles y Penetración Solar al Interior.....	231
Figura A16. Simulación de Dispositivo Oeste a 16hrs.....	232
Figura A17. Gráfica de Temperatura de Bulbo Seco Real y Simulada Interior y Exterior Durante el Uso de Dispositivo de Control Solar al Oeste.....	232
Figura A18. Gráfica Estereográfica para Sombreado de Dispositivo de Control Oeste.....	233

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 3

ACCIONES NACIONALES E INTERNACIONALES PARA EL USO EFICIENTE
DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS

Tabla 1. Normas Oficiales Mexicanas de Eficiencia Energética.....	49
---	----

CAPÍTULO 5

CONSUMO ENERGÉTICO DE LA VIVIENDA EN MÉXICO

Tabla 2. Consumo Nacional de Energía.....	67
---	----

Tabla 3. Tarifa del Sistema Eléctrico Nacional.....	72
---	----

CAPÍTULO 6

ANÁLISIS CLIMÁTICO DE LA CIUDAD DE MÉXICO; AREA DE PRUEBAS EN
CINVESTAV Y MÓDULOS EXPERIMENTALES

Tabla 4. Clasificación Climática de la Ciudad de México.....	77
--	----

Tabla 5. Temperaturas y Humedades Horarias.....	83
---	----

Tabla 6. Especificaciones de Placas de Poliestireno.....	93
--	----

Tabla 7. Temperaturas de Bulbo Seco en Día Crítico de Octubre.....	98
--	----

Tabla 8a. Temperaturas de Bulbo Seco durante Periodo de Calibración.....	99
--	----

Tabla 8b. Humedad Relativa durante Periodo de Calibración.....	99
--	----

CAPÍTULO 7

EXPERIMENTACIÓN EN SISTEMAS ALTERNATIVOS DE ACONDICIONAMIENTO AMBIENTAL PARA CLIMAS CÁLIDO SECOS

Tabla 9. Temperaturas de Bulbo Seco durante Bajocalentamiento en Invierno...	111
Tabla 10. Temperatura de la Tierra a 1.6 metros.....	112
Tabla 11. Temperatura de Bulbo Seco en Primavera.....	115
Tabla 12. Temperatura de Bulbo Seco Durante Primavera.....	116
Tabla 13. Enfriamiento Conductivo por Ductos en Invierno.....	119
Tabla 14. Enfriamiento Conductivo por Ductos en Primavera.....	120
Tabla 15. Temperaturas de Bulbo Seco en Periodo de Sobrecalentamiento.....	126
Tabla 16. Temperatura del Aire Interior y Exterior en Captador.....	127
Tabla 17. Temperaturas de Bulbo Seco durante Prueba de Control Térmico.....	138
Tabla 18. Temperaturas de Muro Oeste.....	139
Tabla 19. Temperaturas de Bulbo Seco Durante Sobrecalentamiento y Control Térmico.....	142
Tabla 20. Temperaturas de Plafón en Módulos.....	143
Tabla 21. Propiedades Térmicas de los Materiales en Muros.....	146
Tabla 22. Propiedades Térmicas de los Materiales en Muro Oeste.....	147

Tabla 23. Propiedades Térmicas de los Materiales en Losa de Azotea.....	148
Tabla 24. Temperaturas Reales y Simulaciones al Exterior e Interior.....	149
Tabla 25. Temperaturas de Bulbo Seco del 25 de Mayo.....	153
Tabla 26. Temperaturas durante Periodo de Enfriamiento Evaporativo Directo..	154
Tabla 27. Humedad Relativa durante la Prueba EED.....	155
Tabla 28 a. HR min. y Tbs max. / HR max. y Tbs min.....	158
Tabla 28 b. HR min. y Tbs max. / HR max. y Tbs min.....	159

CAPÍTULO 8

CASO DE ESTUDIO: TORREÓN, COAHUILA; ANÁLISIS DEL SITIO EN UNA REGIÓN CON CLIMA CÁLIDO SECO

Tabla 29. Vocación de Uso de Suelo.....	166
Tabla 30. Clasificación Climática de la Ciudad de Torreón.....	168
Tabla 31. Temperaturas y Humedades Horarias.....	174

CAPÍTULO 9

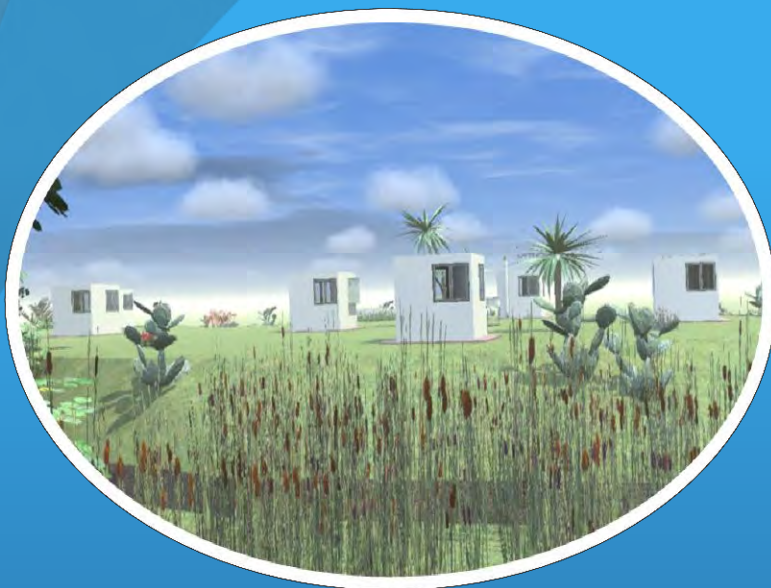
VIVIENDA BIOCLIMÁTICA; SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO Y CONSUMO ELÉCTRICO DE ACUERDO A HORARIOS DE USO POR EQUIPOS ELECTRODOMÉSTICOS Y ALUMBRADO

Tabla 32. Propiedades Térmicas de los Materiales.....	187
---	-----

Tabla 33. Consumo Eléctrico en la Vivienda Común.....	195
Tabla 34. Consumo Eléctrico en la Vivienda Bioclimática.....	196
Tabla 35. Temperaturas de Bulbo Seco durante Bajo Calentamiento el 11 de Enero.....	200
Tabla 36. Calentamiento Conductivo por Ductos en Invierno.....	201
Tabla 37. Materiales y sus Propiedades Térmicas en Muros Exteriores.....	203
Tabla 38. Materiales y sus Propiedades Térmicas en Losa de Azotea.....	203
Tabla 39. Tabla de Datos Solares Diarios.....	204
Tabla 40. Temperaturas de Bulbo Seco Exterior y en las Viviendas el 11 de Enero.....	207
Tabla 41. Temperaturas de Bulbo Seco durante Sobrecalentamiento el 19 de Marzo.....	209
Tabla 42. Enfriamiento Conductivo por Ductos en Primavera.....	210
Tabla 43. Tabulador de Datos Solares Diarios.....	213
Tabla 44. Temperaturas de Bulbo Seco Exterior y en las Viviendas el 19 de Marzo.....	215

ANEXO I**DISPOSITIVOS DE CONTROL SOLAR**

Tabla A1. Temperaturas Reales y Simulaciones al Exterior e Interior.....	228
Tabla A2. Tabla Diaria de Datos Solares para Dispositivo Sur.....	229
Tabla A3. Temperaturas Reales y Simulaciones al Exterior e Interior.....	232
Tabla A4. Tabla Diaria de Datos Solares para Dispositivo Oeste.....	229



CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES E INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES E INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES E INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes sobre Arquitectura Bioclimática

Desde los principios de la humanidad, el hombre se ha visto en la necesidad de convivir con su medio ambiente. Un claro ejemplo de ello ha sido la arquitectura vernácula, la cual es un reflejo de la cercana relación existente entre el hombre y los diferentes climas, en la que las construcciones se realizaban con los materiales y recursos disponibles en la misma región; al igual, éstas eran adecuadas al clima del sitio modificándose la forma de la edificación (techos inclinados en regiones con alta precipitación pluvial, volados para proteger del sol, etc.) y eligiendo los materiales más adecuados para usar en su construcción.

Sin embargo, los primeros en emplear el término de Arquitectura Bioclimática fueron los hermanos Olgyay quienes, por primera vez, dieron un enfoque científico al diseño arquitectónico como respuesta a las condiciones del clima.

A mediados de los años sesentas, los hermanos Olgyay proponen el término Diseño Bioclimático para resaltar la relación, así como las múltiples conexiones entre el clima (factores naturales) en relación con el diseño. De esta manera proponen un método por el cual el diseño arquitectónico se desarrolla en respuesta a las necesidades climáticas propias de cada región. Aladar y Víctor Olgyay desde los años cincuenta, ya venían proponiendo un nuevo enfoque en la manera de diseñar en arquitectura y fue hasta 1962 cuando se realizó una síntesis

de sus libros y artículos en el libro **Arquitectura y Clima** (Victor Olgyay & Aladar 1962).

Esta es una lista de sus más destacados trabajos:

- *The Temperate House* (1951).
- *Bioclimatic Approach to Architecture* (1954).
- *Solar Control and Orientation to Meet Bioclimatical Requirements* (1954).
- *Application of Climate Data House Design* (1954).
- *Sol-Air Orientation* (1954).
- *Environment and Building Shape* (1954).
- *Solar Control and Shading Device* (1957).

En ellos se muestra ese primer esfuerzo en resaltar la estrecha relación existente entre el hombre y el medio, de una manera científica, Bioclimática y aplicado en la Arquitectura.

La Arquitectura Bioclimática se ocupa de diseñar edificaciones con base en el aprovechamiento del clima y las condiciones naturales del entorno donde se ubica la construcción. Se busca conseguir el mayor grado de confort térmico por medio de elementos arquitectónicos y materiales apropiados, sin el uso de sistemas mecánicos. Los principios básicos de la construcción Bioclimática son los siguientes:

- **Orientación:** fachada principal, habitaciones, ventanales y otros locales dirigidos de manera correcta hacia el Sur solar verdadero, en el hemisferio Norte.

- **Captación solar pasiva:** Situación de ventanales y apertura hacia el Sur solar verdadero con el fin de captar luz y calor. En verano se protegerán con elementos constructivos como porches, voladizos, toldos, o bien, naturales, como árboles de hoja caduca, del hemisferio Norte.
- **Integración en el entorno:** Orientación del terreno, pendientes, vegetación y arbolado, vientos, corrientes de agua.

Los puntos anteriormente mencionados se aplican al diseño de la construcción para el aprovechamiento eficiente de la energía solar. Debe buscarse el equilibrio térmico de la vivienda o edificio mediante el balance entre pérdidas y ganancias de calor, e igualmente, utilizar materiales y aislamientos de calidad. Ello debe permitir crear una masa térmica que proporcione inercia térmica (capacidad de absorción del calor) al edificio considerando, además, los sistemas naturales de ventilación y los sistemas solares pasivos como factores igualmente determinantes para el proyecto.

Se pretende producir el menor impacto al ambiente, resultado de todos los procesos que intervienen en la construcción de una vivienda; desde los materiales de fabricación, las técnicas de construcción, la ubicación de la vivienda, su impacto en el entorno, el consumo de energía y de materiales de la misma.

La Arquitectura Bioclimática puede hacer posible lograr un ahorro energético respecto a las redes de suministro centralizadas (agua, gas, electricidad) con el máximo aprovechamiento de los recursos del entorno, los métodos y procedimientos ecológicos respetuosos con el medio ambiente.

1.2 Planteamiento y Delimitación del Problema

En la República Mexicana, el 90.5% del consumo total de energía proviene de petróleo crudo, condensados, gas natural y de la quema de otros hidrocarburos; y tan solo el 6.2% proviene de energías renovables. Aproximadamente el 20% total de dicho consumo proviene del sector residencial, comercial y público (Secretaría de Energía 2011).

El progreso de cualquier país depende de la habilidad de sus habitantes para emplear los recursos energéticos en acciones que fortalezcan la competitividad de su economía, al mismo tiempo que se protege el ambiente.

Sería poco lógico y aun menos efectivo el desarrollo de sistemas para el ahorro energético mediante el uso de un diseño Bioclimático, si su campo de aplicación en vivienda y edificios no incluyera, asimismo, conceptos de construcción sustentable.

Las emisiones de CO₂ por consumo eléctrico coloca a las ciudades ubicadas en regiones cálidas extremas como las principales productoras de gases de efecto invernadero. Por ejemplo: Hermosillo, Sonora con 2.91 ton/año y Mexicali, B.C. con 4.07 ton/año (Comisión Nacional de Vivienda 2006). Esto se debe principalmente al uso intensivo de sistemas de aire acondicionado; por tal motivo, el gobierno concede mayor subsidio en las tarifas de cobro por consumo eléctrico en localidades cuyas temperaturas son muy elevadas.

Esto representa un gasto de los recursos financieros del país en el subsidio por el alto consumo eléctrico, mientras que éste puede ser reducido con una mejor planeación en el diseño de las viviendas, tomando en cuenta criterios bioclimáticos y el uso de tecnologías ecológicas adecuadas.

1.3 Objetivos

Por medio de un análisis de producción y consumo energético, identificar las regiones del país con mayor demanda eléctrica para encontrar su causa y si esta es producto de un clima extremoso, emitir recomendaciones de Diseño Bioclimático adecuadas para corregir el problema de confort en viviendas ubicadas en climas cálido secos.

Hacer una revisión de normas mexicanas y sistemas de certificación empleados en otros países, para elegir cuál de ellas puede servirle a México para disminuir el gasto energético en la vivienda.

Analizar los diferentes niveles de consumo energético en las distintas zonas de la República Mexicana y detectar los lugares en que el consumo es mayor y por qué.

Localizar e identificar los climas cálidos secos dentro de la República, así como tener conocimiento de sus características; proponer mejores soluciones por medio de un diseño bioclimático que permita mayor confort en la vivienda, sin usar sistemas mecánicos de climatización, reduciendo así el consumo energético.

Implementar el uso de software para evaluar en modelos virtuales el desempeño y ahorro energético que obtendría una vivienda diseñada con criterios bioclimáticos, así como sus óptimos niveles de confort.

Acercar a toda aquella persona dedicadas a la construcción, este conocimiento y orientarlos al uso de las principales herramientas para elaborar un diseño con criterios bioclimáticos.

La arquitectura bioclimática ofrece todo tipo de confort: ambiental, térmico, lumínico, acústico, etc. y todos estos factores, que intervienen entre el cuerpo y su medio, nos ofrecen beneficios y una mejor salud física y mental (José Roberto García Chávez, 2000).

1.4 Hipótesis General (HG)

HG. Satisfacer la demanda de vivienda en los climas cálido secos de la República Mexicana, sin contemplar las características climáticas de la zona y darle importancia sólo a desarrollar conjuntos habitacionales de manera rápida y económica, conlleva a un gasto mayor en energía eléctrica por el uso de sistemas de climatización artificial.

Hipótesis particulares (H1)(H2)(H3)(H4)(H5)(H6)

H1. Los sistemas pasivos de climatización empleados en la arquitectura tradicional han quedado en el olvido y se han sustituido por modernos equipos mecánicos consumidores de energía, siendo estos responsables del incremento en el gasto eléctrico en viviendas con climas extremosos.

H2. El empleo de estos sistemas de acondicionamiento pasivo de la arquitectura tradicional en medio oriente, utilizado en climas calido aridos nos proporcionaran codiciones de confort en situaciones de temperaturas extremas sin ningún costo de operación o mantenimiento.

H3. El enfriamiento y calentamiento coductivo proporcionado por la temperatura estable de la tierra, propiciara que un ducto enterrado en el subsuelo inyecte aire caliente durante el invierno en época de bajocalentamiento y de igualmanera inyecte aire frio en época de sobrenfriamiento para que en ambos casos el espacio retorne a condiciones de confort.

H4. Un dispositivo que simule la función de una torre eólica proporcionara ventilación natural y reducirá la temperatura interior de un espacio en horas de sobrecalentamiento.

H5. Los paneles de material aislante proven de una temperatura más estable al interior de aquellos espacios, cuyas superficies están expuestas a la radiación solar directa.

H6. El incremento de la humedad en un espacio nos conduce a una disminución de la temperatura por enfriamiento evaporativo directo.

1.5 Motivación para Elaborar la Investigación

Presentar información actual sobre Diseño Bioclimático, ecológico y sustentable de vivienda popular para climas cálido secos de la República Mexicana, acorde a las acciones legales y normativas existentes en México y otros países. De esta

manera, el diseño de la vivienda desarrollada en este documento cumplirá con los estándares de calidad y ahorro energético establecidos a nivel mundial, tomando en cuenta el clima y la particular problemática actual de la energía en nuestro país.

Facilitar la localización de los climas cálidos secos dentro de la República Mexicana y ofrecer al constructor las mejores recomendaciones bioclimáticas para el diseño de viviendas en éstos.

Ofrecer parámetros de confort y evaluación de proyectos particulares por medio de simulaciones y modelos virtuales (mediante el uso de software).

1.6 Metodología

Se realizará una investigación teórica y de recopilación de información, sobre todo en lo correspondiente al Diseño Bioclimático de la vivienda popular en climas cálidos extremosos; para de esta manera, poder hacer una evaluación sobre su potencial ahorro energético.

Por medio de programas de cómputo y métodos matemáticos que simulen los ahorros energéticos que representan el uso de dispositivos de control solar, demostrar que existe un potencial ahorro energético en la vivienda diseñada, para que ésta obtenga el calentamiento o enfriamiento necesarios y, además, evite las horas de sol indeseables. Se deben tomar en cuenta todos los factores que representa la arquitectura bioclimática. El uso de criterios para la ventilación natural, el comportamiento térmico (ganancias y pérdidas de calor) la iluminación natural y artificial, así como el ahorro de energía.

1.7 Introducción y Síntesis de los Capítulos

Capítulo 1. Antecedentes e Introducción

En este primer capítulo se presentan los antecedentes y origen de la arquitectura bioclimática como término y con el enfoque científico otorgado por los hermanos Olgyay; los problemas de consumo energético en los climas cálidos del país y cómo el diseño bioclimático puede representar una diferencia positiva; teniendo como objetivo la disminución de este consumo.

Capítulo 2. El Hombre, la Arquitectura y el Consumo Energético a Través del Tiempo

En el segundo capítulo se aborda el tema del consumo energético, desde el origen del hombre y las primeras fuentes de energía que éste utilizó para su supervivencia; cómo la demanda ha aumentado con el desarrollo económico y social desde la Revolución Industrial hasta la actualidad; y cómo la arquitectura y el diseño sustentable han sido una herramienta importante para el ahorro de energía.

Capítulo 3. Acciones Nacionales e Internacionales para el Uso Eficiente de los Recursos Energéticos

El tercer capítulo hace mención a las principales acciones internacionales, como el Protocolo de Kioto, que tiene el propósito de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero culpables del calentamiento global; así como de los sistemas más destacados de estandarización en construcciones ecológicas, como BREEAM

y LEED. Por último se presenta la Estrategia Nacional Contra el Cambio Climático y de los problemas ambientales causados por éste en México.

Capítulo 4. Normatividad Energética en México

En el cuarto capítulo se muestran las propuestas nacionales para el uso eficiente de la energía, tanto en el sector vivienda como en otros (por ejemplo el Programa de Introducción de Bioenergéticos y el Desarrollo Sustentable de la Energía). Finalmente se analiza la normatividad existente en el país para Ahorro Energético en los Edificios NOM 008 y en Vivienda NOM 020.

Capítulo 5. Consumo Energético de la Vivienda en México

El quinto capítulo refleja la problemática actual de energía en México y su desaceleración en la producción de energéticos y la creciente demanda de éstos. Se presentan cifras oficiales de consumo energético y el porcentaje que ocupa la vivienda; además cómo la temperatura de la región afecta dicho consumo, siendo mayor en los climas cálido secos del norte del país.

Capítulo 6. Análisis Climático de la Ciudad de México; Área de Pruebas en CINVESTAV y Módulos Experimentales

Nuevamente se analizará el clima, ahora de la ciudad de México para poder desarrollar experimentos dentro de Módulos de Prueba, en los que se aplicarán diferentes sistemas alternativos de acondicionamiento ambiental, eficientes y económicos. Se explica paso a paso la construcción de los Módulos y los materiales empleados.

Capítulo 7. Experimentación en Sistemas Alternativos de Acondicionamiento Ambiental para Climas Cálido Secos

Se presentan los resultados de las mediciones obtenidos y de los parámetros que se ofrecen como corrección de la temperatura y humedad dentro de los espacios para que éstos posean un confort higrotérmico integral. Posteriormente, se desarrollarán simulaciones virtuales para comprobar que los resultados otorgados por los programas computacionales son fiables para posteriores representaciones de modelos virtuales.

Capítulo 8. Caso de Estudio: Torreón, Coahuila; Análisis del Sitio en una Región con Clima Cálido Seco

En el sexto capítulo se analiza y delimita un clima cálido seco de la República Mexicana; donde se presenta una marcada diferencia de temperaturas en invierno y verano por lo que, mediante un análisis climático, se determinarán las mejores estrategias de diseño bioclimático, distintas a lo largo de todo el año (como la masividad, el calentamiento en invierno y enfriamiento en verano). Finalmente se propondrán las estrategias de diseño bioclimático para una zona en específico de la República Mexicana con dichas características: el análisis climático de Torreón, Coahuila. Se contemplarán criterios bioclimáticos (como el diseño solar y el aprovechamiento de la energía solar para proveer a los espacios de buena iluminación y de una temperatura interior confortable); así como las estrategias generales para lograr un confort higrotérmico, mediante el uso de la carta bioclimática y el diagrama psicrométrico.

Capítulo 9. Vivienda Bioclimática; Simulación del Comportamiento Térmico y Consumo Eléctrico de Acuerdo a Horarios de uso por Equipos Electrodomésticos y Alumbrado

En este capítulo se ofrecerán las estrategias de diseño bioclimático para una vivienda de interés social, la cual será evaluada virtualmente en comparación a una vivienda común existente en Torreón, así se comprobarán las bondades del diseño ecológico y sustentable, cómo éste aporta un ahorro energético al disminuir el consumo producido por aparatos activos de climatización, al tiempo que ofrece un espacio con mayor confort higrotérmico.

De igual forma, se simularon las pruebas con sistemas pasivos de acondicionamiento ambiental ahora en un clima cálido seco (Torreón, Coahuila) para demostrar el buen desempeño de dichos sistemas tradicionales para retornar a condiciones de confort; haciendo uso de las principales estrategias de diseño para época de bajocalentamiento y sobrecalentamiento (calentamiento y enfriamiento conductivo, control térmico en la envolvente, dispositivos de control solar)



CAPÍTULO 2

EL HOMBRE, LA ARQUITECTURA Y
EL CONSUMO ENERGÉTICO A TRAVÉS
DEL TIEMPO

CAPÍTULO 2

EL HOMBRE, LA ARQUITECTURA Y EL CONSUMO ENERGÉTICO A TRAVÉS DEL TIEMPO

CAPÍTULO 2

EL HOMBRE, LA ARQUITECTURA Y EL CONSUMO ENERGÉTICO A TRAVÉS DEL TIEMPO

2.1 El Hombre y los Recursos Energéticos

El origen y evolución del Hombre (Figura 1). Desde los primeros homínidos bípedos hasta el actual *homo sapiens* han transcurrido de 6 a 7 millones de años; algunos de los primeros especímenes son miembros del genero *Australopithecus* (como el esqueleto homínido de la famosa Lucy, perteneciente al género *Australopithecus afarensis*, con 3.2 millones de años de antigüedad, descubierta en Etiopía, en 1974).

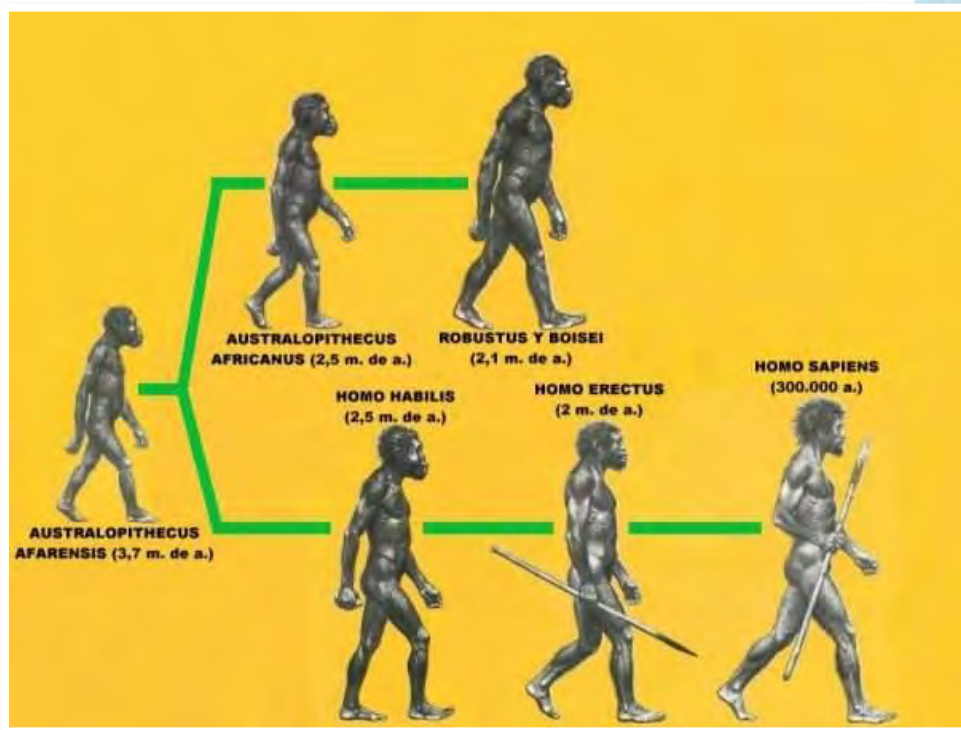


Figura 1. Evolución del Hombre. Fuente: <http://cesarvalenciac-ecuadorhistorico>.

El proceso evolutivo siempre ha respondido a las condiciones climáticas y a los recursos disponibles en el medio natural y como respuesta, los seres vivos se han tenido que adaptar a estas condiciones; por esta misma situación, el origen y evolución de los siguientes homínidos en la cadena evolutiva. El *Paranthropus* (con una mandíbula más desarrollada para poder aprovechar los recursos alimentarios disponibles), poco a poco comenzaron a incluir más carne en su dieta, luego las proteínas provenientes de ésta hicieron posible el desarrollo del cerebro en nuestra especie. Los siguientes sucesores cronológicamente fueron los primeros del género *homo*. Como el *Homo habilis* y *Homo ergaster* con fósiles que datan de entre 2 a 1.8 millones de años, ya presentaban un mayor volumen craneal.

La búsqueda de mejores condiciones y mayores recursos alimentarios produjo que el hombre primitivo migrara por primera vez, dando origen a linajes distintos como el *Homo Erectus* en Asia Oriental hace tan sólo 50,000 años.

Es precisamente el *Homo Erectus*, el primer ser lo suficientemente inteligente al que se le atribuye el descubrimiento del fuego. Después de los alimentos, el fuego se convirtió en el segundo energético útil al hombre para la supervivencia humana, ya que le otorgó luz y calor durante las temporadas frías; también le fue útil para la cocción de alimentos y con ello se aprovecharon mejor las proteínas y calorías de la carne.

Hace aproximadamente 1 millón de años, se considera la etapa final de la evolución con el Hombre de Neanderthal (*Homo neanderthalensis*) y el hombre

moderno (*Homo sapiens*). El Hombre de Neanderthal surgió y evolucionó en Europa y medio oriente hace unos 230,000 años, presentando claras adaptaciones al clima frío de la época; y, los fósiles más antiguos de *Homo sapiens* datan de hace unos 200,000 años. Ambos son dos especies diferentes que coexistieron juntas por un tiempo; aunque finalmente, el *Homo Sapiens* se propagó a lo largo del planeta.

Este proceso aparentemente largo que duró millones de años para que el ser humano evolucionara en lo que es hoy, no es nada comparado con la historia del cosmos y de la vida. Carl Sagan ideó un calendario cósmico (Figura 2) en el cual la totalidad de los 15,000 millones de años atribuidos al universo transcurren en un año terrestre. Según esta analogía, un segundo representa 500 años de nuestra historia. Este calendario comienza desde el origen del universo, con el Big Bang, el 1 de Enero a las 00:00hrs; y toda la historia humana transcurre en el último minuto del 31 de diciembre.

Es increíble pensar cómo en tan sólo ese último minuto de un año, el hombre y sus actividades antropogénicas, resultado de la industrialización y de la terrible deforestación creciente, han acabado con los recursos naturales y con el equilibrio de diversos ecosistemas, que tardaron millones de años en aparecer.

Existe evidencia de que la deforestación y la agricultura cambiaron permanentemente el clima de los países del mediterráneo, transformándolo en uno más cálido y seco, producto de la disminución de la humedad en el ambiente. Se suman a esto las emisiones contaminantes y gases de efecto invernadero,

como el CO₂ que a pesar de que aún existe la polémica de que éstos sean culpables del calentamiento global y de todos los efectos de cambio climático resultantes, si son responsables de un deterioro en el ambiente.



Figura 2. Calendario Cósmico de Carl Sagan. Fuente: <http://lacomunidad.elpais.com>

Lo que sí es una realidad es el aumento en los niveles de contaminantes, que afectan la calidad de vida y la salud de los habitantes de las grandes ciudades principalmente; estos contaminantes dañinos al ambiente, causan un desequilibrio a los ecosistemas y a los seres vivos que lo conforman.

Los agentes contaminantes tienen relación con el crecimiento de la población y el consumo de combustibles fósiles, la generación de basura y desechos industriales; ya que al aumentar éstos, la contaminación que ocasionan, es mayor (Hector Ferreiro León, 1991). Los contaminantes por su consistencia, se clasifican en sólidos, líquidos y gaseosos. Las últimas han sido un problema desde la revolución industrial, cuando las fábricas aparecieron y las ciudades fueron creciendo.

2.2 La Revolución Industrial, el Desarrollo Económico, Social, la Contaminación en las Ciudades Modernas y el Cambio Climático

En la segunda mitad del siglo XVIII y principios del siglo XIX, en Europa tuvo lugar **la Revolución Industrial**, uno de los periodos históricos más importantes en el que los trabajos de manufactura fueron remplazados por un proceso industrializado de fabricación, gracias al avance de la tecnología y la cultura (García Chavez J.R. y Fuentes, V., 2000).

La Revolución Industrial comenzó con la mecanización de las industrias textiles y el desarrollo de los procesos del hierro. La expansión del comercio fue favorecida por la mejora de las rutas de transportes y, posteriormente, por el nacimiento del ferrocarril.

Las innovaciones tecnológicas más importantes fueron la máquina de vapor y máquinas textiles que incrementaron la capacidad de producción y se disminuyó el tiempo en el que éstos se realizan. Dando así paso a la producción en serie, proceso que dio inicio a la economía moderna de las grandes ciudades.

La Revolución Industrial desató, no sólo, el auge económico, científico y técnico, sino que, con el inicio de ésta, se promulgó el uso intensivo, extensivo e irracional de los recursos naturales. Esta Revolución permitió aumentar el rendimiento de los cultivos y obtener más alimentos, al mismo tiempo que la ciencia médica alargó la expectativa de vida y redujo la mortalidad infantil, permitiendo el rápido crecimiento de la población.

Hacia el año 1835, la humanidad alcanzó, por primera vez en su historia, los 1,000 millones de habitantes, pero la población se duplicó en tan sólo un siglo. En la actualidad, la población humana mundial se incrementa a razón de 1,000 millones cada década, y la proporción de tiempo amenaza con ser incluso más reducida; todos estos factores aumentaron considerablemente la demanda y el consumo energético, así como la contaminación producto de ésta.

En respuesta a todos estos problemas ambientales, fue creado un Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), establecido en 1988, con el propósito de analizar la información científica necesaria para abordar el problema del cambio climático y evaluar sus consecuencias medioambientales, socioeconómicas y formular estrategias de respuesta realistas.

Según el más reciente informe publicado por IPCC en 2007, el calentamiento climático ha elevado la temperatura promedio mundial del aire, de los océano y de los hielos (Figura 3). La suma de éstos ha provocado un deshielo generalizado y un aumento promedio mundial de los niveles del mar, lo que pondría en riesgo de inundaciones a las ciudades costeras de todo el planeta.

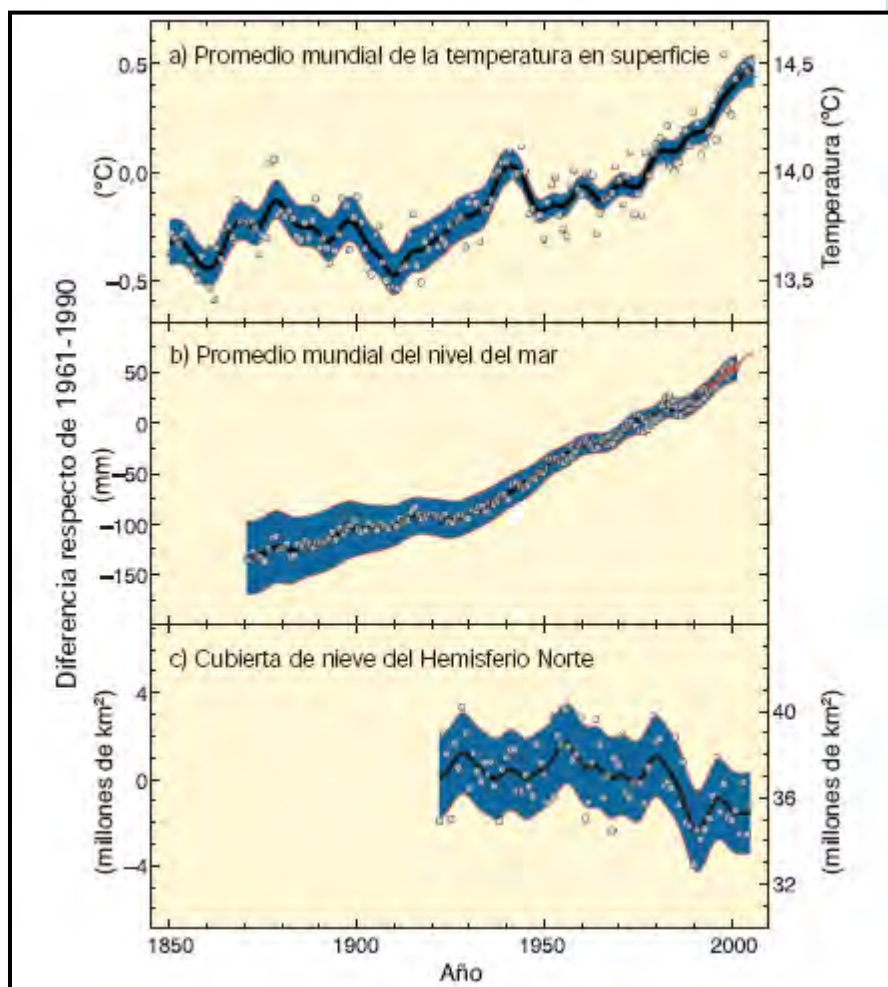


Figura 3. Variación Promedio Mundial de la Temperatura. Fuente: IPCC 2007.

Una de las principales causas del cambio climático, según IPCC, son las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero (GEI), que han aumentado en un 70%, y el dióxido de carbono (CO_2) producto de la actividad humana, que se ha incrementado un 80%; ambos porcentajes entre 1970 y 2004. Las emisiones mundiales de GEI antropogénico (Figura 4) y las concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono, metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O), se han elevado notablemente desde 1750 por actividades humanas. El aumento de cada uno

proviene de diferentes sectores: la quema de combustibles fósiles es responsable del incremento de CO_2 ; la agricultura y el uso de combustibles fósiles, del aumento de CH_4 ; y la agricultura, del incremento de N_2O .

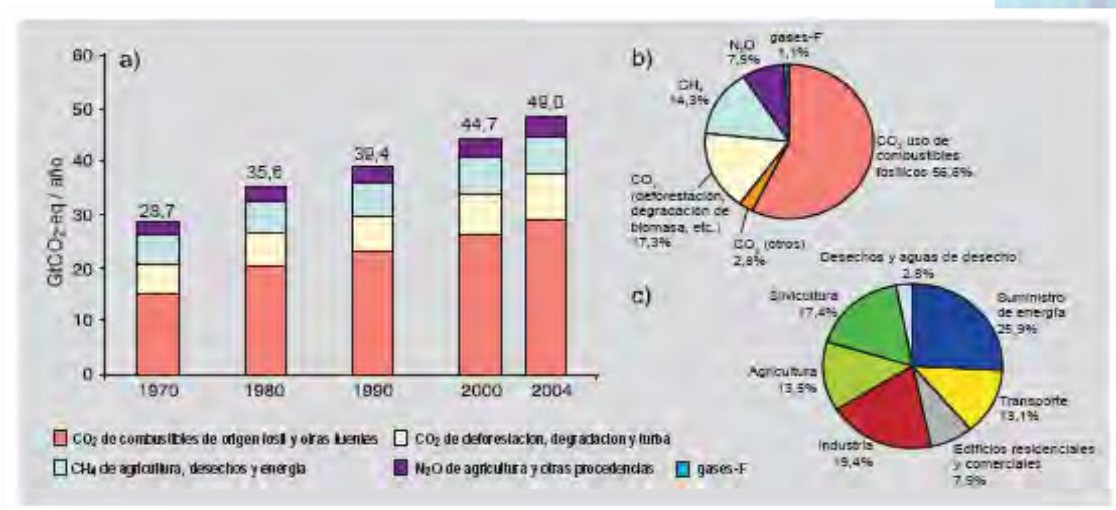


Figura 4. Emisiones Mundiales de GEI Antropogénico. Fuente: IPCC 2007.

Aunque el cambio climático es un proceso natural que ha ocurrido a lo largo de la historia del planeta, existen gráficas comparativas sobre el calentamiento global por causas naturales contrastando sobre estas mismas causas aunadas al efecto antropogénico; intentando probar de esta manera que el hombre se ha sumado por medio de sus actividades y emisión de GEI, al aceleramiento e incremento de dicho cambio climático (Figura 5).

De tal forma que los datos de la temperatura registradas en la superficie de cada continentes son comparados con datos simulados, haciendo uso de datos climáticos de todo un siglo (que abarca desde el año de 1900 a 2000).

Los modelos y simulaciones que utilizan sólo los fenómenos naturales toman en cuenta aspectos como la actividad solar, actividad volcánica y otros originados por la naturaleza; por otro lado, los modelos que utilizan causas naturales y antropogénicos suman a los anteriores las concentraciones de GEI promedio, producido por actividades humanas en cada continente en los últimos 50 años.

Las simulaciones climáticas arrojan que las actividades solares y volcánicas representarían un enfriamiento; mientras que las simulaciones con las actividades humanas, un aumento de la temperatura, lo que ha afectado numerosos sistemas físicos y biológicos.

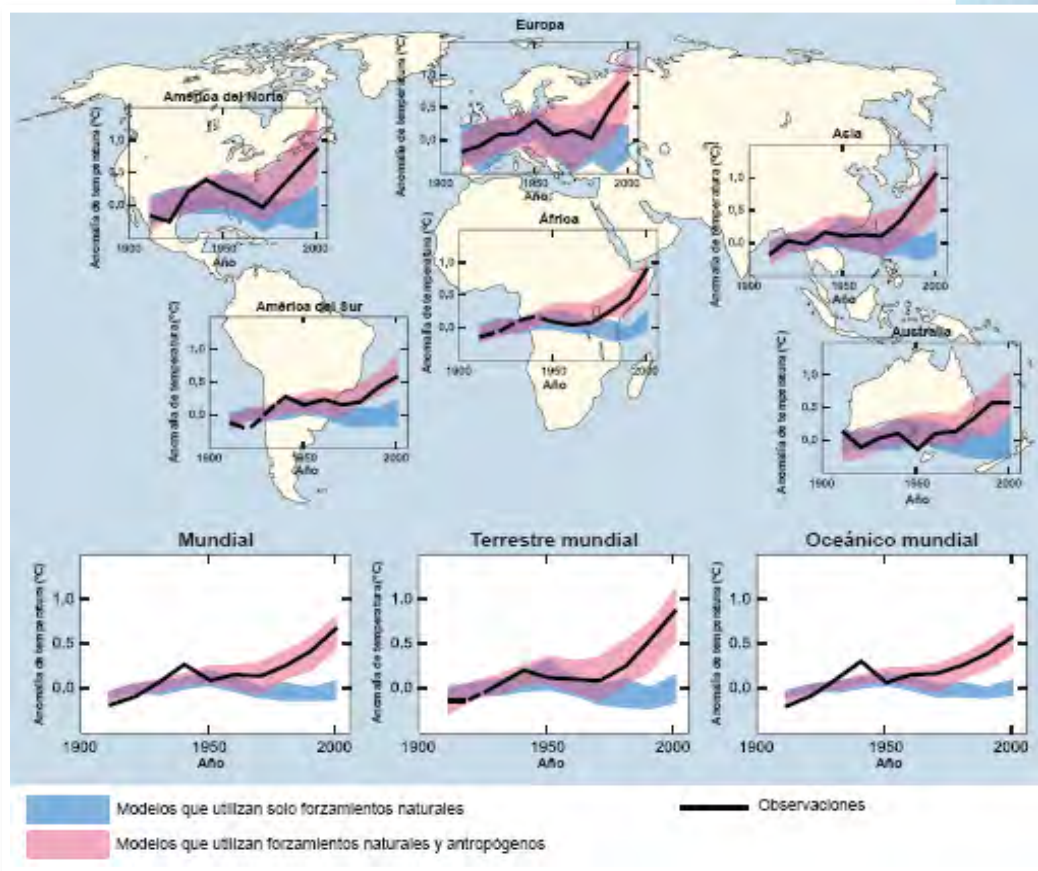


Figura 5. Aumento de la Temperatura Mundial y Continental. Fuente: IPCC 2007.

Las investigaciones realizadas por IPCC no sólo reportan los cambios medioambientales registrados, sino también sus impactos producidos. Algunos de los más destacados por este panel de expertos son los siguientes:

- *Muy probablemente* aumentará la frecuencia de los valores extremos cálidos, de las olas de calor y de las precipitaciones intensas.
- *Probablemente* aumentará la intensidad de los ciclones tropicales; menor confianza en que disminuya el número de ciclones tropicales en términos mundiales.
- Desplazamiento hacia los polos de las trayectorias de las tempestades extratropicales, con los consiguientes cambios de las pautas de viento, precipitación y temperatura.
- *Muy probablemente* aumentarán las precipitaciones en latitudes altas, y *probablemente* disminuirán en la mayoría de las regiones terrestres subtropicales, como continuación de las tendencias recientemente observadas.

Los puntos anteriores permiten visualizar el futuro más difícil que se presentará, si no se toman medidas para mitigar el aumento de gases de efecto invernadero y otros contaminantes, producto del abuso en la quema de combustibles fósiles y de la desmedida industrialización de las grandes ciudades. Esto no sólo afecta las condiciones climáticas, como se ha mostrado; sino también, se verá afectada la producción energética mundial por la menor disponibilidad de recursos.

2.3 La Producción Energética a Nivel Mundial

Se producen diferentes tipos de energéticos a nivel mundial, entre los más importantes por su demanda se pueden nombrar: el petróleo crudo, gas natural y electricidad. En la distribución de las reservas mundiales de petróleo, se ha reportado una disminución del 3.1% al pasar de 52,930 millones de barriles, al 31 de diciembre de 2008 a 1,258 al 31 de diciembre de 2009, consecuencia de la gran demanda existente y a que son fuente de energía no renovable. Como se puede apreciar, las exportaciones de petróleo crudo (Figura 6) proceden principalmente de Medio Oriente, que aportó 36.8% del volumen de exportaciones de petróleo crudo en 2008. Le siguió la Ex Unión Soviética con el 15.0%; África con el 14.4%, Norteamérica, 11.1%; Asia Pacífico, 9.9%; Centro y Sudamérica, 6.6% y Europa con el 3.7%. Por su parte, México aportó 2.9% de dichas exportaciones.

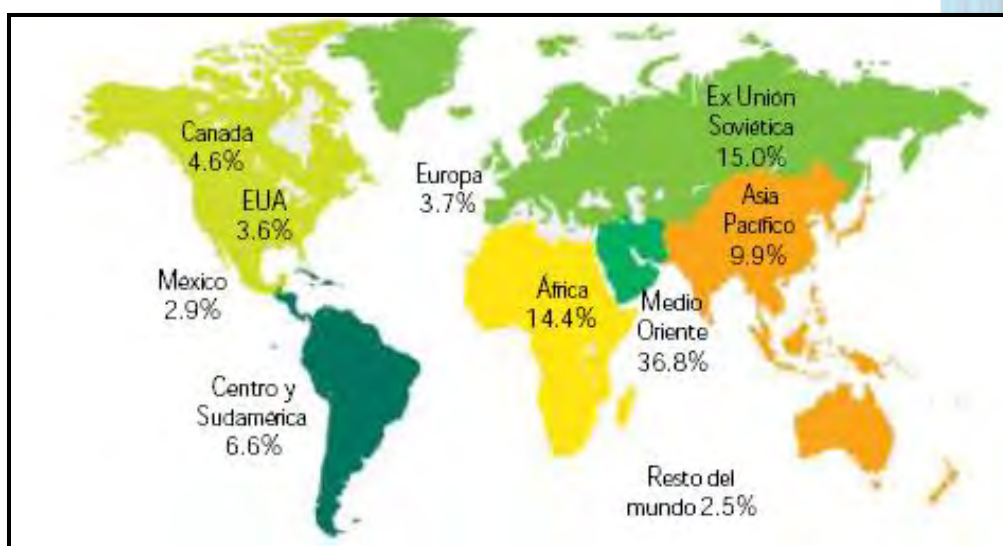


Figura 6. Exportaciones Mundiales de Petróleo Crudo. Fuente: SENER 2009.

De acuerdo con información de British Petroleum, en 2008 la producción mundial de crudo (Figura 7) promedió 81.8 millones de barriles diarios, cifra 0.5% superior a la registrada en 2007. Arabia Saudita fue el principal productor, aportando el 13.3% de la producción mundial de petróleo. El segundo lugar lo ocupó Rusia, seguido por Estados Unidos e Irán. En cuanto a la demanda la región Asia Pacífico demandó 30.0% del petróleo, seguido por Norteamérica, con una participación de 28.1%.

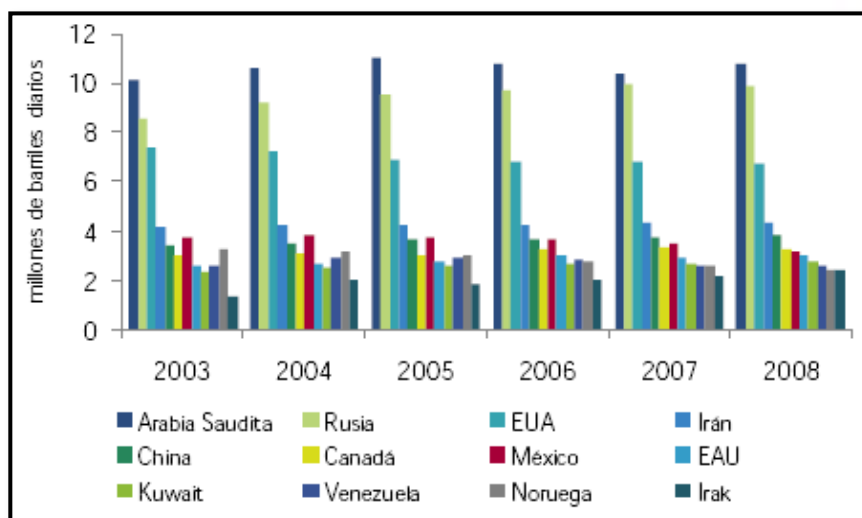


Figura 7. Principales Países Productores de Crudo. Fuente: SENER 2009.

Otro energético importante es el gas natural, cuyas reservas probadas (Figura 8) sumaron 185.02 miles de billones de metros cúbicos, cifra 4.5% superior a la registrada en 2007. El 41.0% de las reservas se localizaron en Medio Oriente. En Europa y Euroasia se ubicó el 34.0% de dichas reservas, mientras que la región Asia Pacífico concentró el 8.3%. En Norteamérica se situó el 4.8%. México aportó 0.3% de las reservas mundiales.

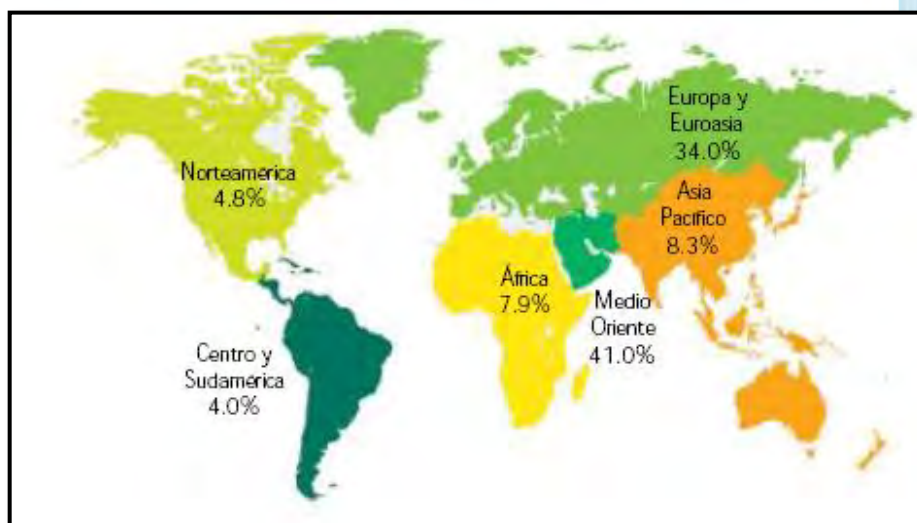


Figura 8. Reservas Mundiales de Gas Natural. Fuente: SENER 2009.

En cuanto a la producción de gas natural (Figura 9), en 2008 alcanzó los 3,065.6 miles de millones de metros cúbicos, cifra 4.1% superior a la registrada en 2007. Rusia ocupó el primer lugar en la producción mundial, con una participación de 19.6%, mientras que Estados Unidos aportó 19.3%. México, quien ocupó la posición número diecisiete, tuvo una aportación de 1.8%.

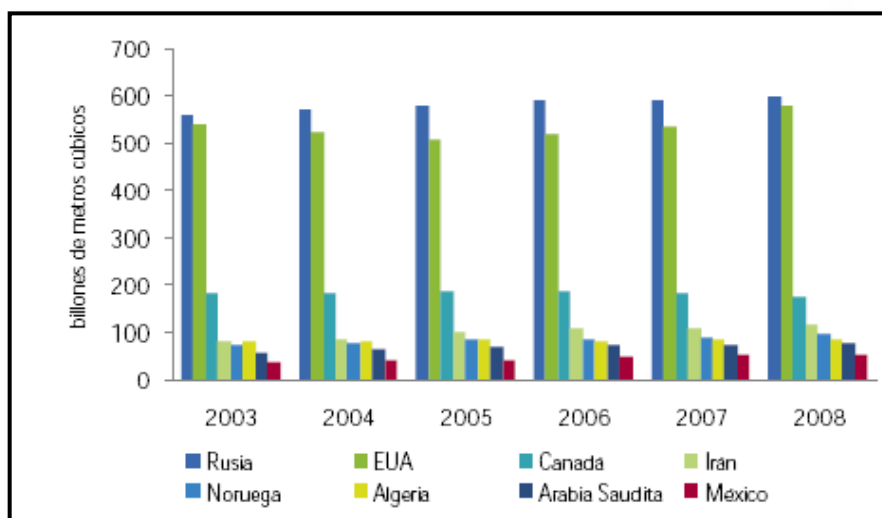


Figura 9. Producción Mundial de Gas Natural. Fuente: SENER 2009.

La demanda mundial de gas natural en 2008 fue de 3,018.7 billones de metros cúbicos, 2.7% mayor a lo registrado en 2007. Europa y Euroasia fue la región con el mayor consumo, 37.9% del consumo mundial. Norteamérica consumió 27.3%, de los cuales México contribuyó con el 8.1%.

Un tipo de energético de interés para la elaboración de este texto es la electricidad. En 2008 la generación mundial de ésta ascendió a 20,201.80 TWh, 1.6% mayor a 2007. Más de la mitad de esta producción se concentró en Norteamérica, Europa y Euroasia (Figura 10). Los mayores generadores de electricidad fueron Estados Unidos (21.4%) y China (17.0%). La producción mexicana correspondió al 1.3% del total mundial.

En cuanto a la generación de electricidad per cápita, Estados Unidos fue el mayor generador de electricidad del mundo en 2008. Si ésta se analiza por número de habitantes, se puede ver que Canadá generó más electricidad per cápita. La generación de México fue bastante elevada, a pesar de ser el país con menor generación en la gráfica (Figura 11), representa una gran producción de energía eléctrica la cual aún está por debajo de la demanda nacional. La generación de electricidad puede provenir de una variedad de combustibles y fuentes de energía; éstas dependen de la disponibilidad de combustibles en cada país (Figura 12).

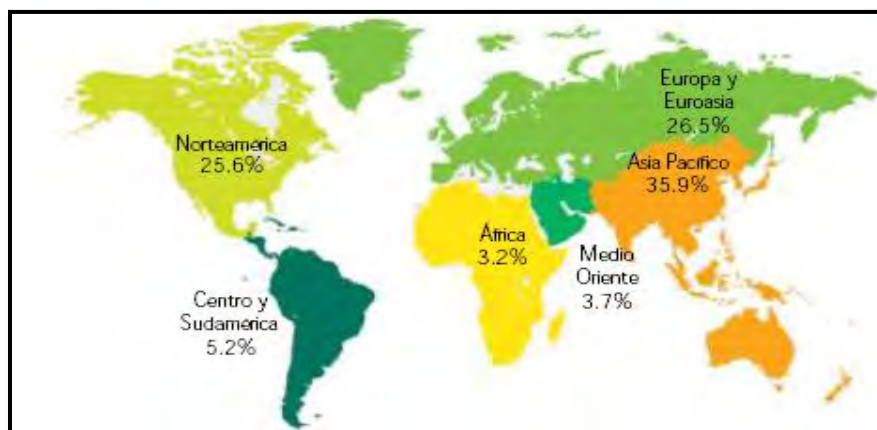


Figura 10. Generación Mundial de Electricidad. Fuente: SENER 2009.

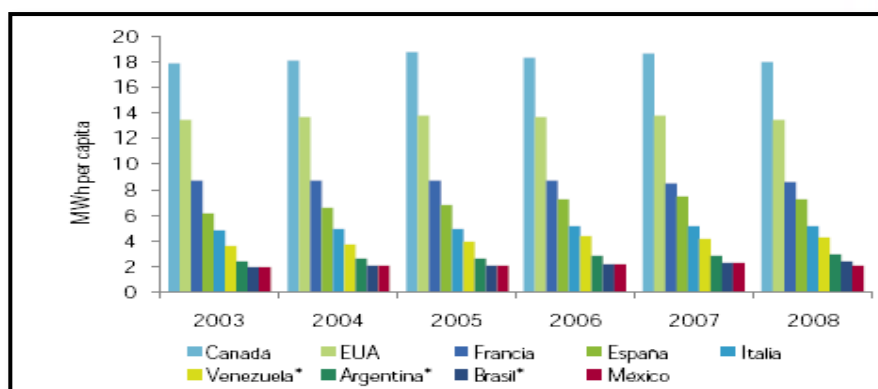


Figura 11. Generación de Electricidad per Cápita. Fuente: SENER 2009.

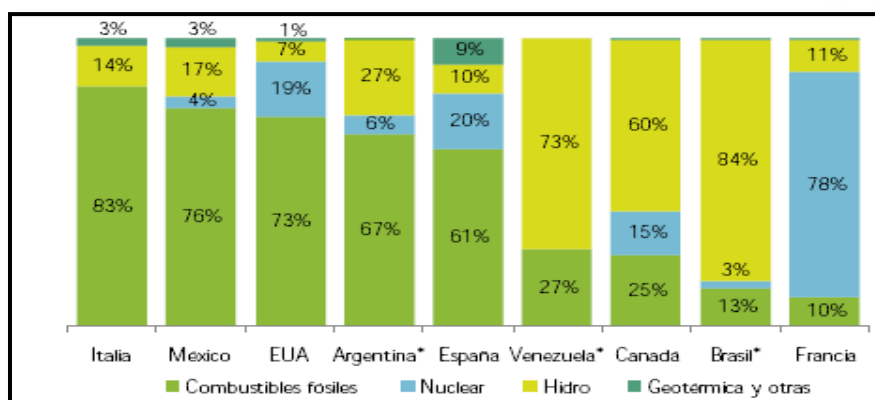


Figura 12. Generación de Electricidad Proveniente de Diversas Fuentes.

Fuente: SENER 2009.

2.4 Arquitectura, Energía y Diseño Sustentable

La arquitectura vernácula es un claro ejemplo de la estrecha relación existente entre el hombre y su medio, ya que responde a las necesidades propias de cada región con diversos materiales para la construcción (Rodríguez Viqueira, Manuel. 2004). Por desgracia, esa armonía lograda ya desde hace tiempo fue quedando olvidada e ignorada por la creciente tecnología y abuso de energía.

El Diseño ecológico y sustentable no es algo exclusivo de la arquitectura moderna, es un recurso que la humanidad ha empleado desde la antigüedad y existen ejemplos en diversos lugares del planeta; Grecia, Roma, Persia y América del Norte, por nombrar algunos.

En Persia, fueron construidos los primeros molinos de viento hace 3,000 años y es precisamente en este lugar donde se originaron las *Torres Eólicas* (Figura 13). Con ellas aprovechaban el viento para refrigeración y calefacción, sus sistemas complejos de ventilación pasiva y sistemas de enfriamiento han existido desde hace 2,000 años. Esta ingeniería de edad antigua rivaliza con la eficacia simple y elegante de su diseño con los equivalentes modernos de alta tecnología. Usando una combinación de las diferencias de presión atmosférica, orientación estructural y agua corriente, estas estructuras captadoras de viento ayudan a regular la temperatura en el más áspero de los ambientes desérticos, con noches frías y días calurosos.

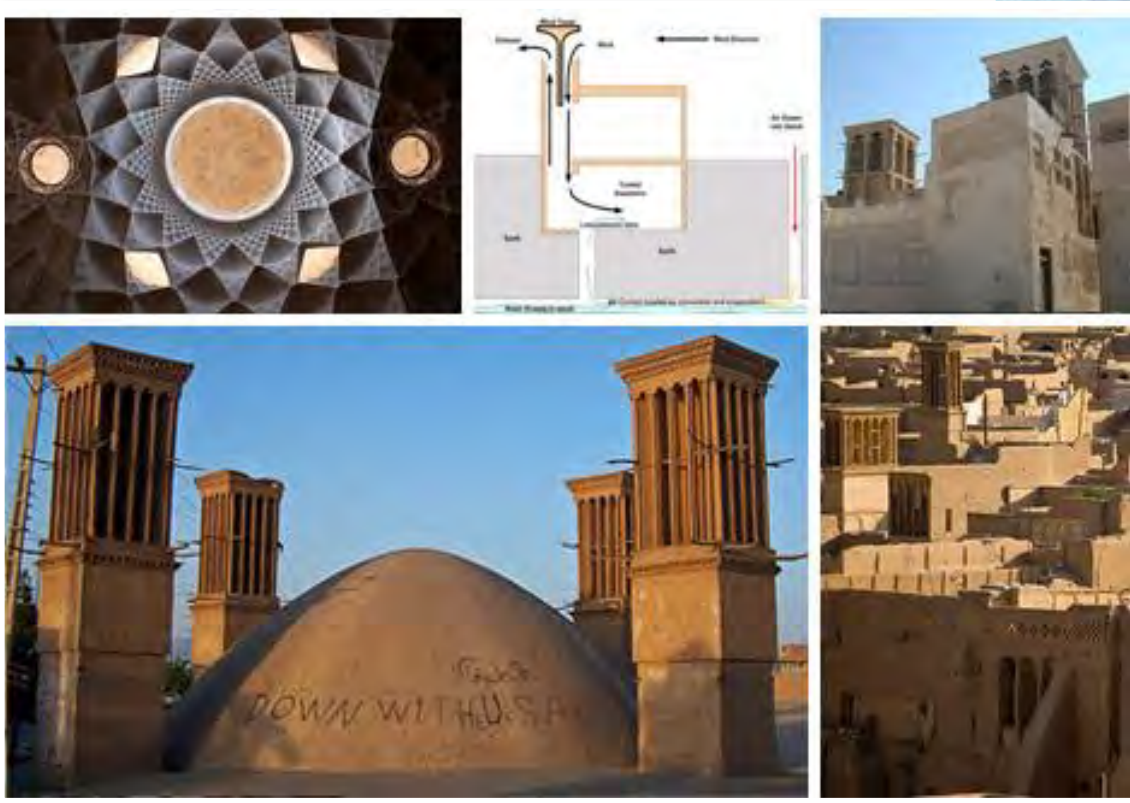


Figura 13. Torres Eólicas de la Antigua Persia. Fuente: <http://eesaytbailonangeles.blogspot.com>

En la antigua Roma se edificaron grandes construcciones que han sido iconos de la ciudad, pero también cuenta con proyectos en los que se aprovechaban los recursos disponibles en el medio natural; en los Antiguos Baños Termales, los romanos utilizaron la energía geotérmica indirectamente, a través de ésta el agua se calienta para sus baños y se da calefacción a los hogares. Estos proyectos de energía térmica son invariablemente limitados por la ubicación y depende de la proximidad a lugares como la zona alrededor del Monte Vesubio donde el magma caliente estaba más cerca de la superficie terrestre.

Los antiguos griegos, por su parte, al enfrentarse a una escasez de combustible, hace 25 siglos empezaron a pensar más sobre cómo diseñar los edificios para

aumentar la ganancia solar y un retardo térmico durante los meses de invierno. Comenzaron por la orientación de los edificios de toda la ciudad (Figura 14) de tal manera que las casas tenían exposición al sur para capturar los rayos solares en las épocas más frías del año y no sólo la utilizaron para un acondicionamiento térmico, sino también aprovecharon la luz natural para la iluminación de los espacios.



Figura 14. Diseño Solar de las Antiguas Ciudades Griegas.

Fuente: <http://eesaytbailonangeles.blogspot.com>

En América del Norte también existen ejemplos de ciudades antiguas que hacían uso del diseño solar, como el localizado en el Parque Nacional Mesa Verde en

Colorado, en donde la energía solar pasiva era la protección proporcionada por un acantilado y la construcción de las estructuras se ubicaba en posiciones clave para aprovechar la energía solar en determinados momentos del año (Figura 15).

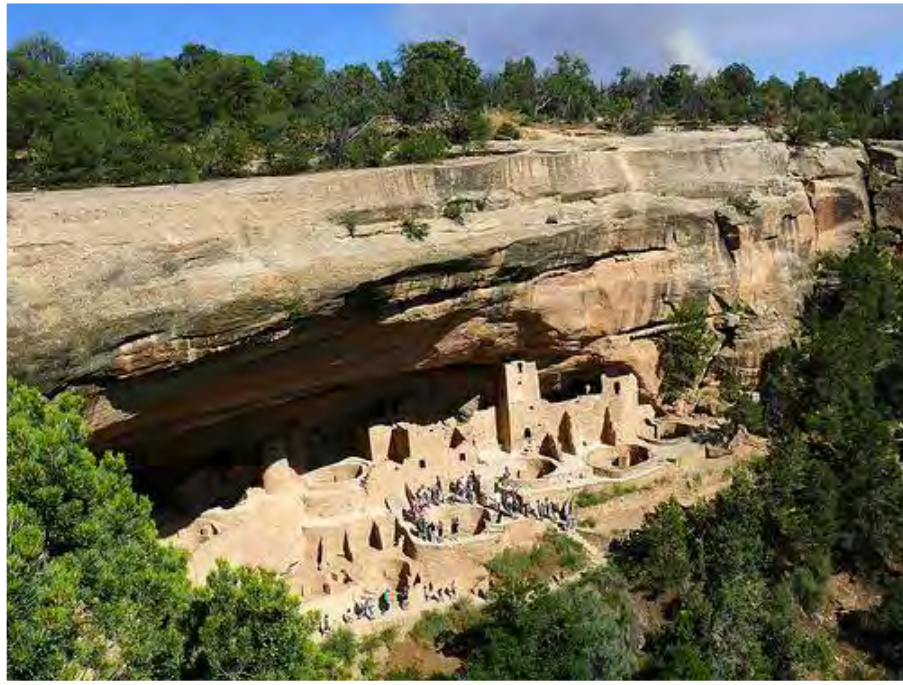


Figura 15. Parque Nacional Mesa Verde. Fuente: <http://www.mundofotos.net>

Pese a que la construcción con integración y respeto al medio natural que nos rodea se ha practicado tiempo atrás, es hasta la actualidad que se escucha sobre arquitectura sustentable y diseño ecológico. Cabe señalar que una nueva generación de arquitectos comparten esa preocupación por conservar el medio ambiente y proponen nuevas tecnologías constructivas que sean amigables con la conservación del entorno natural. El arquitecto Kenneth Yeang, nació en Penang, Malasia en 1948, y más tarde, cursa la carrera de arquitectura en la Architectural Association School (1966-1971) en Londres, Inglaterra. En 1975, recibe el grado

de Doctor en diseño ecológico en el Wolfson College de la Universidad de Cambridge. Sobra mencionar el interés del arquitecto Yeang por el Diseño Bioclimático. He aquí algunos ejemplos de sus proyectos:



Figura 16. CAAG tower. <http://www.dcp.ufl>.

El proyecto CAAG tower (Figura 16) se localiza en Deptford Creek, Londres. Una de las características bioclimáticas tomadas en cuenta para su diseño es la orientación hacia el sur y el oeste de sus departamentos, con el propósito de aprovechar las vistas y el asoleamiento.



Figura 17. Mesiniaga Tower. <http://www.dcp.ufl.edu>

El proyecto Menara Mesiniaga Tower (Figura 17), localizada en Malasia conjunta principios de Diseño Bioclimático como el paisajismo vertical en la fachada del edificio y los patios donde la vegetación comienza a trepar desde la parte baja del edificio y en el cual incorpora también sistemas pasivos de energía.

En el proyecto Elephant & Castle Eco-tower (Figuras 18 a y b) localizado en Londres, Inglaterra, se rehabilitó un área de 180 acres con servicios como transporte público nuevo y eficiente, así como comercios, oficinas y viviendas de interés social. El diseño de tres eco-torres para uso residencial fueron creadas contemplando la sustentabilidad y criterios bioclimáticos, como la correcta orientación, sistemas pasivos y la integración con su entorno por medio de la vegetación.



Figuras 18 a y b. Elephant & Castle Eco-tower. <http://www.dcp.ufl.edu>

Por otra parte, Singapur es un pequeño país al sudeste de Asia con una alta densidad de población a nivel mundial, pero también con una prospera economía. Su clima es tropical húmedo con temperaturas máximas de 30 °C y mínimas de 23 °C durante todo el año; por tratarse de una isla rodeada por el mar, la humedad

es alta. Es en este país donde se están construyendo un sinnúmero de edificaciones sustentables, un primer ejemplo es el edificio: *Escuela de Arte, Diseño y Medios* (Figura 19), una estructura de cinco pisos con una gran cubierta verde, que se integra de manera majestuosa con los jardines del exterior; las fachadas de cristal permiten una buena iluminación natural al interior donde los niveles deben ser buenos por tratarse de aulas.



Figura 19. Escuela de Arte, Diseño y Medios. <http://tepatinaelcoco.blogspot>

El renombrado despacho Foster + Partners diseñó una pequeña ciudad verde en Singapur, con amplios criterios de sustentabilidad y uso eficiente de energías alternas; este eco-complejo (Figura 20) contará con elementos verdes en todo el conjunto. Todas las fachadas serán equipadas con celdas solares y como dispositivos de control solar, la luz directa del sol se filtra a través de éstas. Las cubiertas de la base de todo el complejo expuestas al este y al oeste (Figura 21) serán láminas verticales en las elevaciones y proporcionarán más energías

renovables en el sitio, integrando una película delgada en los paneles solares. Los espacios verticales verdes y extensos jardines cielo también son componentes importantes de las torres; además, otorgan el carácter ecológico de toda la estructura con la vegetación natural y la temperatura ambiente confortable.

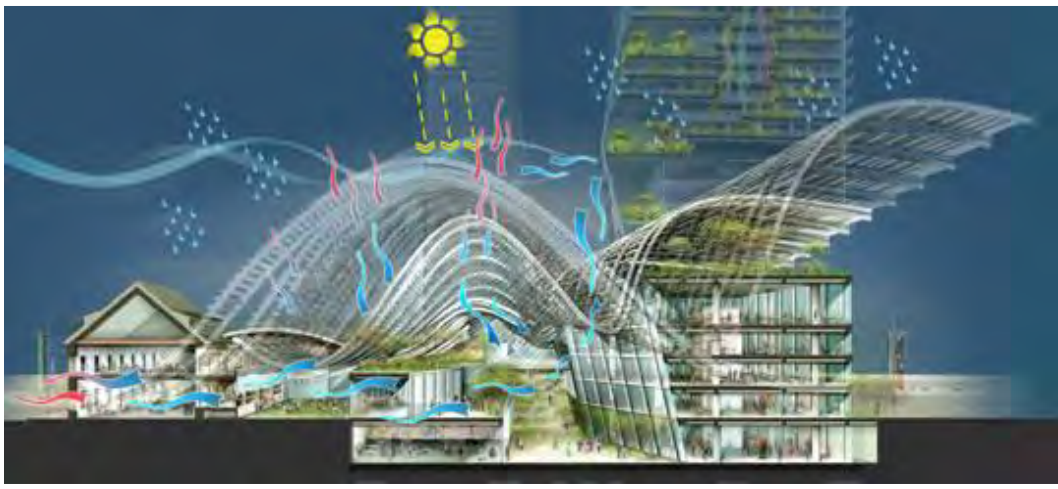


Figura 20. Proyecto de eco-complejo. Fuente: <http://mrmannoticias.blogspot.com>

La parte sesgada de la fachada está concebida para atrapar el viento y dirigirla hacia abajo para enfriamiento natural de la planta baja. Un sistema de captación de agua de lluvia, sistema de calefacción geotérmica, refrigerados vigas y techos, y un sistema de almacenamiento de hielo para la refrigeración son las mejoras adicionales previstas para el complejo verde. El diseño aprovecha conceptos básicos de Arquitectura Bioclimático en la edificación y dichos principios (la energía solar pasiva, la ventilación y refrigeración naturales) proporcionaran a esta nueva ciudad verde el confort y ahorro de energía que los principios de sustentabilidad buscan principalmente en climas cálido extremosos, como los de Singapur.



Figura 21. Torre del eco-complejo.

Fuente: <http://mrmannoticias.blogspot.com>

El despacho británico de Zaha Hadid planea desarrollar un complejo de siete edificios (Figura 22) en la ciudad de Singapur. Las zonas comunes contarán con extensas áreas verdes y de esta manera vinculará la vegetación y el clima de la región con una arquitectura ecológica y sustentable.



Figura 22. Complejo de siete edificios en Singapur.

Fuente: <http://mrmannoticias.blogspot.com>



CAPÍTULO 3

ACCIONES NACIONALES E INTERNACIONALES PARA EL USO EFICIENTE DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS

CAPÍTULO 3

ACCIONES NACIONALES E

INTERNACIONALES PARA EL USO

EFICIENTE DE LOS RECURSOS

ENERGÉTICOS

CAPÍTULO 3

ACCIONES NACIONALES E INTERNACIONALES PARA EL USO EFICIENTE DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS

3.1 Tratados Internacionales en Contra del Calentamiento Global y la Reducción de Emisiones CO₂. Protocolo de Kioto y Bonos de Carbono.

La humanidad siempre ha tenido que enfrentar condiciones climáticas adversas, sin embargo, se ha podido adaptar a ellas. Pero ha llegado el momento en que las actividades humanas se han sumado al cambio climático, por lo que será de vital importancia desarrollar medidas de mitigación en los próximos años para reducir las emisiones de GEI.

Si esta tendencia en el consumo de combustibles fósiles continúa, la OCDE estima que para el año 2050 la demanda aumentará de 80%, en el 2005, a 84% (Agencia Internacional de Energía, 2008). Así mismo, los combustibles fósiles representarán el 16% de la demanda en 2050, disminuyendo su consumo del 19% reportado en 2005 (Agencia Internacional de Energía, 2008).

Se estima que la demanda mundial de energía crecerá en un 44% en los próximos 25 años, lo que incrementará las emisiones de GEI (Figura 23) asociada al cambio climático (International Energy Outlooks, 2009).

Si esta tendencia continúa, se estima que en los próximos 30 años, el mundo emitirá $\frac{3}{4}$ partes de lo que ha emitido durante los últimos 250 años (Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2009).

De esta manera nos podemos percatar del alarmante incremento en las emisiones de gases de efecto invernadero.

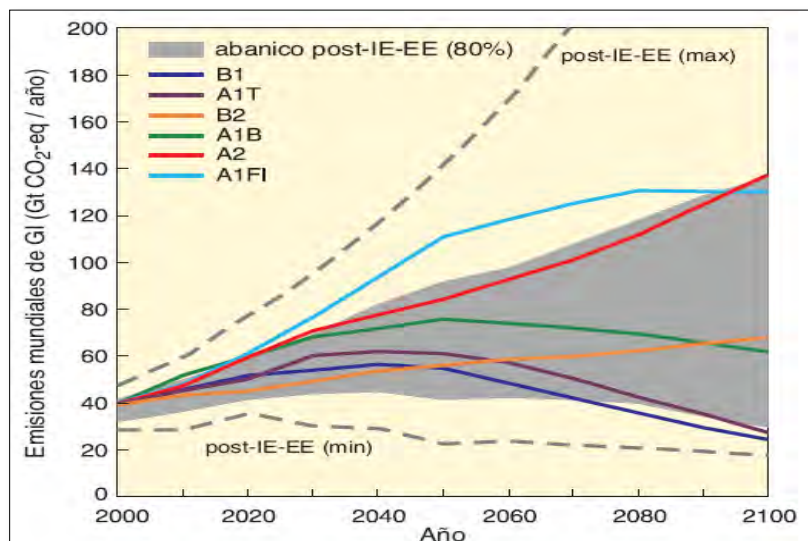


Figura 23. Escenarios de Emisiones de GEI entre 2000 y 2100 en Ausencia de Políticas Climáticas Adicionales. Fuente IPCC 2007.

Los estudios realizados por IPCC indican que para retroceder hasta un nivel aceptable las emisiones de CO₂ del sector energético mundial correspondiente a 2005, de aquí a 2030 habría que modificar sustancialmente las pautas de inversión; para lograrlo habría que integrar las políticas climáticas en políticas de desarrollo, reglamentaciones y normas.

Existen múltiples opciones para reducir las emisiones mundiales de GEI mediante la cooperación internacional. Hay un nivel de coincidencia alto y abundante evidencia del establecimiento de una respuesta mundial al cambio climático: el estímulo de toda una serie de políticas nacionales y la creación de un mercado internacional del carbono y de nuevos mecanismos institucionales al respecto son logros notables del Centro Euro-Mediterráneo per i Cambiamenti Climatici (CMCC)

y del Protocolo de Kioto que podrían sentar las bases de los futuros esfuerzos de mitigación. Se ha avanzado también en el tratamiento de la adaptación en el marco de la CMCC y se han sugerido iniciativas internacionales.

Un acuerdo internacional que ha sido firmado y aceptado por la mayoría de los países industrializados del mundo, el 11 de diciembre de 1997, es el Protocolo de Kioto sobre el cambio climático que tiene como objetivo reducir la emisión de gases de efecto invernadero culpables del calentamiento global.

El protocolo de Kioto es un instrumento muy importante para combatir el cambio climático (Figura 24) y este compromiso asumido por la mayoría de los países industrializados pretende reducir en un 5% las emisiones de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono (CO_2), gas metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O), además de tres gases industriales fluorados: Hidrofluorocarbonos (HFC), Perfluorocarbonos (PFC) y Hexafluoruro de azufre (SF_6), responsables del calentamiento global.

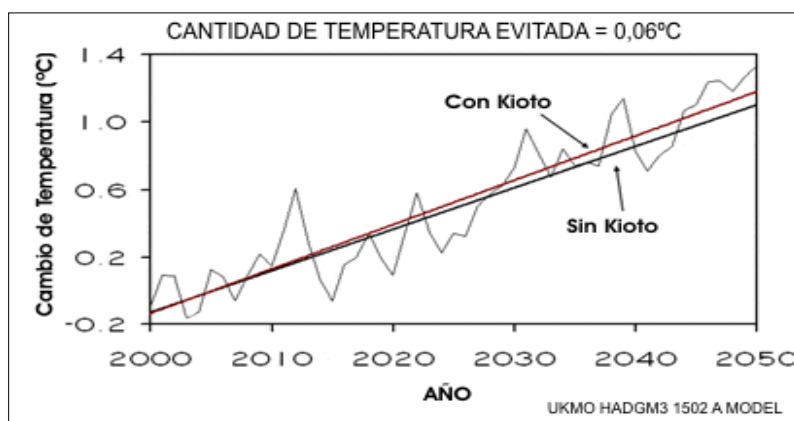


Figura 24. Cantidad Predicha de Calentamiento Global Evitado.

Fuente: Wikipedia.

Uno de los mecanismos propuestos en el Protocolo de Kioto son los bonos de carbono, que pretenden descontaminar y reducir la emisión de gases de efecto invernadero, ofreciendo incentivos económicos a los países y empresas que logren reducir sus emisiones contaminantes, producto del proceso industrial. Para cumplir con sus metas de reducción de emisiones, los países desarrollados pueden financiar proyectos de captura o abatimiento de estos gases en otras naciones (principalmente en vías de desarrollo), acreditando tales disminuciones como si hubiesen sido hechas en territorio propio.

En Diciembre del 2009, en la ciudad de Copenhague en la 15ª Conferencia de Naciones Unidas sobre Cambio Climático y más recientemente la COP16 en 2010, en Cancún; donde México, Noruega, Reino Unido y Australia unificaron criterios y plantearon la iniciativa del Fondo Verde para impulsar el financiamiento en la lucha global contra el cambio climático, sin llegar a ningún acuerdo relevante.

3.2 Norma Europea y Sistema Americano de Estandarización de Construcciones Ecológicas (LEED)

La Comisión Europea ya ha aplicado la Norma de Comportamiento Térmico de los Edificios, en la cual se calculan los requerimientos energéticos para el calentamiento en edificios residenciales. Esta norma Europea utiliza un método de cálculo simplificado para obtener la energía necesaria para espacios y calentamiento de agua; simulando el flujo de calor, ventilación y el funcionamiento de los sistemas de calefacción del edificio.

A nivel mundial también existen diversos sistemas de certificación como BRE Environmental Assessment Method (BREEAM) que se emplea de manera voluntaria para construir edificios verdes en el Reino Unido.

En este sistema de certificación se cuenta con diferentes categorías por desarrollar y evaluar, según sea el tipo de edificio a construir; por ejemplo, versiones de estandarización BREEAM:

- Tribunales.
- Industria.
- Oficinas.
- Salud.
- Prisiones.
- Educación.
- Residencial.
- Hogares ecológicos.
- Desarrollos.

En BREEAM, como primer paso, se cuenta con una pre-evaluación o estimación, para que el usuario comprenda las cuestiones que se tomarán en cuenta; después se tiene que llegar a una idea del nivel que se pretende alcanzar con la certificación (bueno, muy bueno, excelente). Durante la etapa de diseño del concepto, se contacta a un asesor con licencia para garantizar el cumplimiento de la construcción con el menor costo, también debe ayudar a entender con qué

puntos deben aplicarse (Figura 25) y cumplir en su diseño para lograr la calificación deseada.



Figura 25. Categorías de BREEAM. Fuente: <http://www.isd-eng>.

El equipo de diseño proveerá al asesor de toda la información necesaria, posteriormente al término de la evaluación enviará un informe a las oficinas de BREEAM para garantizar la calidad y finalmente al evaluar el informe, la edificación será certificada y añadida a la base de datos de BREEAM.

Otro sistema importante de certificación posterior al BREEAM, es The Leadership in Energy and Environmental Design (LEED), el cual intenta desarrollar construcciones sustentables o verdes en los Estados Unidos. La certificación Americana tiene como principales categorías (Figura 26) y propósitos construir en sitios apropiados, reutilizar lugares y edificios existentes, proteger áreas naturales

y reducir el uso del automóvil, entre otras; con el propósito de prevenir y disminuir las actividades contaminantes producto de la construcción (pre-requisito 1), la elección de un sitio adecuado reduce el impacto ambiental. También se promueve el transporte alternativo como las bicicletas y vehículos eficientes de baja emisión, dándole prioridad al lugar para estos y así disminuir los contaminantes creados por el uso del automóvil.

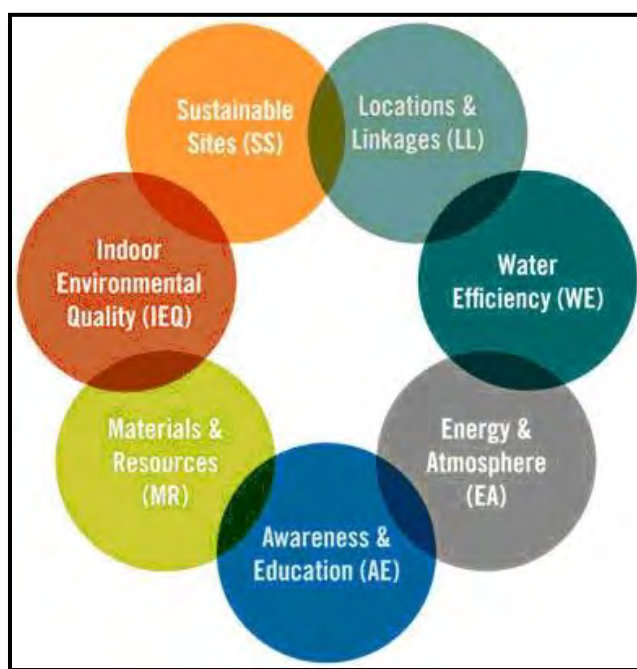


Figura 26. Categorías LEED. Fuente: <http://www.leed.net>

Al trabajar en un desarrollo, se debe restaurar y proteger al menos un 50% con vegetación propia del sitio promoviendo la infiltración (en un 90%) y captación de agua pluvial con un manejo adecuado y en estas áreas abiertas combatir el efecto de isla de calor, sombreando y con un uso adecuado de pavimentos, andadores y techos verdes.

En cuanto a la iluminación, los edificios no deben estorbar la luz natural del otro (derecho al sol) y la iluminación artificial al interior deberá estar correctamente distribuida.

Otro punto importante en la certificación LEED es la eficiencia en el consumo de agua potable, éste se debe reducir con ayuda de muebles sanitarios y sistemas ahorradores en un 50%

El ahorro energético se debe optimizar y se promueve el uso de energías renovables y fuentes alternativas como la energía solar, eólica, geotérmica, biomasa, bio-gas, etc. (estas fuentes renovables deberán proporcionar un mínimo del 35% de la electricidad del edificio).

La demanda de energía y el uso de tecnologías eficientes deben ser diseñados y probados por medio de simulaciones realizadas por personal calificado, el objeto es lograr incrementar los niveles de funcionamiento energético por encima de la media para reducir costos y el impacto ambiental asociado con el uso excesivo de energía.

En las instalaciones de equipos mecánicos para refrigeración promueve el uso de refrigerantes que reduzcan o eliminen la emisión de compuestos que destruyen la capa de ozono y contribuyen al calentamiento global.

Se promueve también la reducción del uso de materiales contaminantes y el contar con un área de separación, recolección, reciclaje y almacenaje.

3.3 Estrategia Nacional Contra el Cambio Climático, Normatividad en México sobre el Uso Eficiente de la Energía e Hipoteca Verde.

En México, los sectores responsables de mayor emisión de gases de efecto invernadero son la generación de electricidad, transporte e industria. Pese a que sólo el 8% de dichas emisiones provienen de la vivienda a nivel nacional, son muy importantes las políticas aplicables a éstas; el crecimiento de la vivienda y por consiguiente el aumento en la demanda de energéticos ya alcanza una cuarta parte del consumo eléctrico.

Las nuevas políticas de vivienda deben garantizar la demanda habitacional de forma ambientalmente sustentable, una de ellas es el ***Programa Específico para el Desarrollo Habitacional Sustentable ante el Cambio Climático*** que se beneficiará con los Bonos de Carbono generados, que se proponen en el Protocolo de Kioto y así México se suma a los esfuerzos internacionales.

El ***Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012*** pretende lograr una sustentabilidad ambiental, creando conciencia y atendiendo los problemas prioritarios de la nación; al igual que la ***Ley de Vivienda 2006*** que considera un respeto al entorno ecológico, la preservación y el uso eficiente de los recursos naturales.

La Estrategia Nacional del Cambio Climático fue publicada en el año 2007, es aquí donde se proponen estas acciones y políticas sobre eficiencia energética en las viviendas, de este modo, México fortalece los compromisos internacionales a los que se ha suscrito.

Estas nuevas políticas públicas en apoyo del desarrollo sustentable de la vivienda ofrece la Hipoteca Verde, crédito en el que el INFONAVIT, otorga un monto adicional para poder comprar una vivienda “ecológica” equipada con eco tecnologías que disminuyan el consumo eléctrico, agua y gas.

Nuestro país ha apostado por preservar el medio ambiente y los recursos naturales sin afectar la competitividad en la demanda. La Secretaría de Energía, a través de la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, expide las Normas Oficiales Mexicanas (tabla 1. NOM's) y actualmente existen 18 NOM's de eficiencia energética vigentes, de las cuales 16 están relacionadas directamente con el consumo de energía eléctrica (Rodríguez Viqueira, Manuel. 2004).

Norma / equipo o sistema	Entrada en vigor	Norma / equipo o sistema	Entrada en vigor
NOM-001-ENER-2000 Bombas verticales	XII/2000	NOM-013-ENER-2004 Alumbrado en vialidades	VIII/2005
NOM-004-ENER-1995 Bombas centrífugas	VII/1996	NOM-014-ENER-2004 Motores monofásicos	VII/2005
NOM-005-ENER-2000 Lavadoras de ropa	X/2000	NOM-015-ENER-2002 Refrigeradores y congeladores	V/2003
NOM-006-ENER-1995 Sistemas de bombeo	XI/1996	NOM-016-ENER-2002 Motores trifásicos	IV/2003
NOM-007-ENER-2004 Alumbrado en edificios	08/2005	NOM-017-ENER-1997 Lámparas fluorescentes	VI/1998
NOM-008-ENER-2001 Edificios no residenciales	VI/2001	NOM-018-ENER-1997 Aislantes térmicos para edificaciones	X/1998
NOM-010-ENER-2004 Bombas sumergibles	VII/2005	NOM-021-ENER/SCFI/ECOL-2000 Acondicionadores de aire tipo cuarto	VI/2001
NOM-011-ENER-2006 Acondicionadores de aire tipo central	VIII/2007		

Tabla 1. Normas Oficiales Mexicanas de Eficiencia Energética. Fuente: CONUEE.

Otra medida oficial es el *horario de verano* que representa una estrategia importante para el uso racional de la luz solar durante los meses de mayor insolación (abril a octubre); obteniendo así la reducción en el consumo de energía eléctrica para iluminación, equivalente a una hora por las noches. La medida se instituyó por Decreto Presidencial en 1996, comienza el primer domingo de abril y termina el último domingo de octubre de cada año.

En México existen otras instancias como el Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE) que es un organismo privado, sin fines lucrativos, cuyas principales funciones son el financiamiento y la promoción de proyectos para impulsar el ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica en los distintos sectores de la sociedad.

Entre otros proyectos plantea llevar a cabo diversas medidas tales como: ampliar el programa de sustitución de equipos domésticos no eficientes en el sector residencial, incrementar los servicios de asistencia técnica y financiamiento a los sectores industrial, comercial y de servicios.

3.4 Cambio Climático y Problemas Ambientales en México

El cambio climático es un fenómeno atribuido, en parte, a las actividades humanas y al creciente consumo de recursos naturales en México y el mundo, así como la contaminación (Figura 27) producto de los procesos industriales y su consecuente emisión de gases de efecto invernadero. Éstos han creado un verdadero caos en las condiciones normales del clima. Este impredecible cambio en el ambiente ha causado un sinnúmero de desastres que afectan a muchas poblaciones en el país.



Figura 27. Contaminación en la Ciudad de México. Fuente: <http://www.taringa.net>

En México, los estragos del calentamiento global y el desequilibrio medioambiental han sido evidentes desde hace varias décadas. En 1988, tres años después de que el Huracán Gilberto azotara las costas del Golfo de México, ocasionando estragos principalmente en Yucatán; el huracán devastó con más del 50% de las playas acabando con servicios e infraestructura. En 1995, el Huracán Henriette (figura 28) tocó tierra en Cabo San Lucas y Sinaloa obligando la intervención de los servicios de la Secretaría de la Defensa Nacional para brindar ayuda a damnificados; y en el mismo año, el Huracán Ismael tocó puerto en Topolobampo. En septiembre de 1997, zonas de Oaxaca y Acapulco sintieron el embate del Huracán Paulina.

Los desastres ambientales han estado presentes con mayor intensidad en el país, sus consecuencias se vuelven cada vez más permanentes; se agregan además,

desbordamientos de ríos en 1999, en estados como Hidalgo, Veracruz, Tabasco, Puebla, Tlaxcala y Oaxaca.



Figura 28. Huracán Henriette. Fuente: <http://comoenlosdiasdenoe>.

Este 2007, el Estado de Tabasco vivió uno de los mayores desastres (figura 29), no sólo por el número de damnificados, sino por las pérdidas materiales y los recursos necesarios para levantar nuevamente a la región. Tabasco es uno de los estados con una abundante hidrografía, es recorrido por las afluentes del Río Grijalva, Usumacinta, Carrizal y Mazcalapa. Las lluvias torrenciales superaron, no sólo la capacidad de las afluentes de estos ríos, sino de la presa Peñitas que llegó a su máxima capacidad el 29 de Octubre, creando la necesidad de abrir las compuertas y desfogando 2 millones de litros por segundo, originándose finalmente la tragedia de la inundación. Ante el evento y el posterior agravamiento de la situación, fue necesaria la intervención del ejército y de la ayuda de la

sociedad civil, fueron destinados lanchas y helicópteros para poder evacuar la zona y poner a resguardo a los miles de damnificados.



Figura 29. Inundaciones en Tabasco. Fuente: <http://www.elindependiente.mx>

Por si fuera poco, otra tragedia, aparentemente de origen natural, afecta el Estado vecino de Chiapas, en el cual el desgajamiento de un cerro causó un inmenso deslave que cubrió al Pueblo de Juan de Grijalva, y provocó el taponamiento del río con el mismo nombre, mismo en el que trabajaron las autoridades federales y la Comisión Federal de Electricidad para abrir nuevamente la afluyente del río y que éste desembocara en el Golfo de México.



CAPÍTULO 4

NORMATIVIDAD ENERGÉTICA EN MÉXICO

CAPÍTULO 4

NORMATIVIDAD ENERGÉTICA

EN MÉXICO

CAPÍTULO 4

NORMATIVIDAD ENERGÉTICA EN MÉXICO

4.1 Propuestas para el Uso Eficiente de la Energía en México

México, al igual que el resto del mundo, sufre de problemas ambientales derivados del uso y consumo excesivo de energéticos. (Figura 30). El gobierno de nuestro país se ha preocupado por ofrecer un desarrollo sustentable dentro del Programa Sectorial de Vivienda 2001-2006 con el fin de aplicar normas y lineamientos para el desarrollo de viviendas que permitan reducir significativamente la contaminación y emisión de gases de efecto invernadero y así cumplir con los compromisos establecidos en el Protocolo de Kioto.

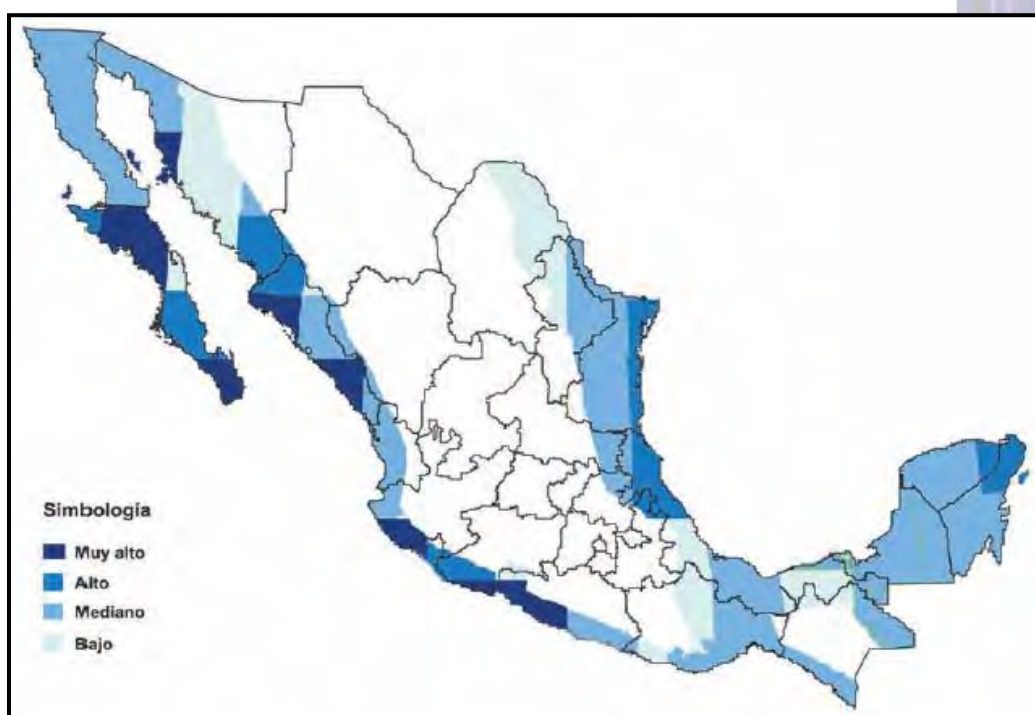


Figura 30. Zonas de Riesgo Vulnerables a Huracanes en México. Fuente INEGI 2006.

Ley de Vivienda

- **Artículo 38...** VI. Fomentar el desarrollo de sistemas constructivos mejorados y modulados acordes a los patrones culturales y al entorno bioclimático de las regiones;
- **Artículo 42...** VI. Ejecutar acciones y obras urbanas para la construcción, mejoramiento y conservación de vivienda, así como para la adquisición de suelo;
- **Artículo 71** Con el propósito de ofrecer calidad de vida a los ocupantes de las viviendas, la Comisión promoverá, en coordinación con las autoridades competentes tanto federales como locales, que en el desarrollo de las acciones habitacionales en sus distintas modalidades y en la utilización de recursos y servicios asociados, se considere que las viviendas cuenten con los espacios habitables y de higiene suficientes en función al número de usuarios, provea de los servicios de agua potable, desalojo de aguas residuales y energía eléctrica que contribuyan a disminuir los vectores de enfermedad, así como garantizar la seguridad estructural y la adecuación al clima con criterios de sustentabilidad, eficiencia energética y prevención de desastres, utilizando preferentemente bienes y servicios normalizados. Las autoridades del Gobierno Federal, las entidades federativas y los municipios en el ámbito de sus respectivas competencias, verificarán que se dé cumplimiento a lo dispuesto en esta Ley en materia de calidad y sustentabilidad de la vivienda, y a las disposiciones legales y reglamentarias correspondientes.
- **ARTÍCULO 78.-** El modelo normativo, las normas mexicanas aplicables al diseño arquitectónico de la vivienda y los prototipos constructivos deberán considerar los espacios interiores y exteriores; la eficiencia de los sistemas funcionales, constructivos y de servicio; la tipificación y modulación de sus elementos y

componentes, respetando las distintas zonas del país, los recursos naturales, el ahorro de energía y las modalidades habitacionales. En este tipo de normas se deberá considerar las condiciones y características de habitabilidad y seguridad para los diferentes tipos de vivienda y de sus etapas de construcción.

- **ARTÍCULO 87...** *Tratándose de las comunidades rurales e indígenas deberán ser reconocidas y atendidas sus características culturales, respetando sus formas de asentamiento territorial y favoreciendo los sistemas constructivos acordes con el entorno bioclimático de las regiones, así como sus modos de producción de vivienda;*
- **ARTÍCULO 88.-** *La Comisión, en coordinación con los organismos de vivienda y con las entidades federales, estatales y municipales fomentará en los programas y proyectos de producción social de vivienda la inclusión de actividades productivas y el desarrollo de actividades generadoras de ingreso orientadas al fortalecimiento económico de la población participante en ellos, de conformidad con lo establecido en las disposiciones aplicables.*

4.2 Acciones y Planes para el Ahorro Energético en México

La Secretaría de Energía SENER ha prestado interés en la planeación energética, así como en el uso de Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable en México (2009). Contar con un Programa de Introducción de Bioenergéticos, así como con una Estrategia Intersecretarial de los Bioenergéticos para en conjunto poder desarrollar una Estrategia Nacional para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía.

Es importante que se dé un cambio de enfoque en el sector energético para desarrollar y fomentar el uso de energías renovables proporcionando mejores

alternativas que disminuyan el impacto ambiental y la emisión de gases de efecto invernadero producidos por la quema de combustibles fósiles.

A continuación se mencionarán de manera resumida cada uno de los programas para el uso de Energías Renovables presentados por la Secretaría de Energía para comprender la importancia de un impulso real de estos planes energéticos:

Programa de Introducción de Bioenergéticos. Este Programa de Producción Sustentable de Insumos para Bioenergéticos tiene como principal propósito acercarnos gradualmente a estas fuentes de energía alternativa, apoyando la investigación científica y el desarrollo tecnológico. De esta manera, la producción guarda un respeto al medio ambiente y genera un impulso económico a su vez.

Se esperan resultados positivos como aprovechar los recursos naturales disponibles en el país, establecer un Programa Nacional de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico en México para la producción de Bioenergéticos; así como una red de investigadores; y preservar los recursos naturales y la biodiversidad, contribuyendo a la disminución de las emisiones de CO₂ entre otros.

Este aprovechamiento de la biomasa es parte de esta acción para la transitoria de energía entre hidrocarburos a Bioenergéticos, y se contempla que para el año 2012, se contarán con 300 mil hectáreas como superficie para cultivos que sirvan de Insumos para Bioenergéticos.

Estrategia Intersecretarial de los Bioenergéticos. Debido a que Mexico cuenta con un gran potencial en el desarrollo de energías renovables, el 18 de junio de

2009 se publica en el Diario Oficial de la Federación *la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos y la Estrategia Intersecretarial de los Bioenergéticos*, la cual establece los aspectos agrícolas, energéticos, ambientales, sociales y económicos que se deben considerar para avanzar en el desarrollo de los Bioenergéticos en nuestro país.

La bioenergía se define como la energía que se obtiene de la biomasa, es decir, que se produce a partir de materiales orgánicos; por tal motivo, para el desarrollo de biocombustibles se deben tomar en cuenta tres puntos: seguridad energética, reducción de emisiones contaminantes y desarrollo agrícola. (Figura 31).

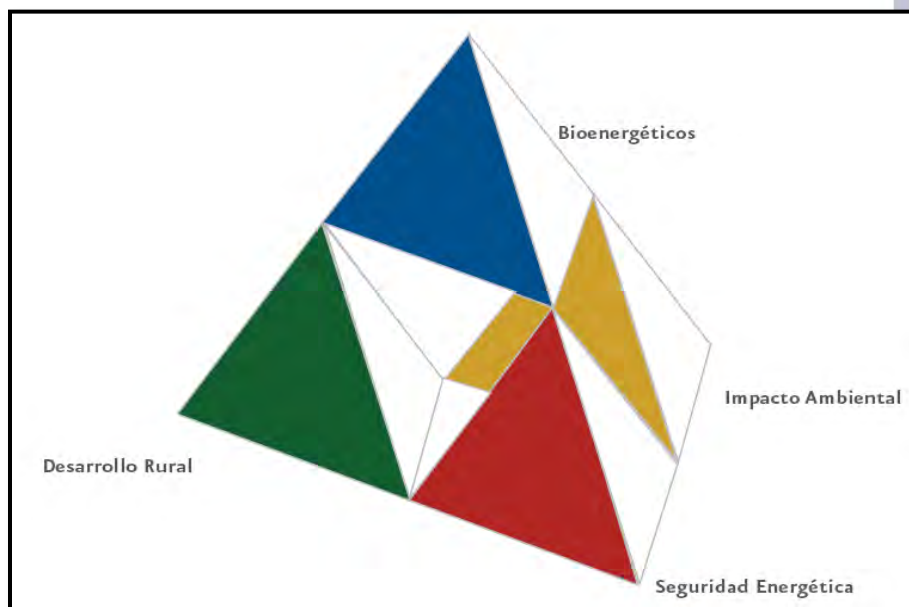


Figura 31. Principales Puntos para el Desarrollo de Bioenergéticos. Fuente: SENER.

Las acciones nombradas anteriormente están enfocadas a que México cuente con los combustibles, la electricidad y las fuentes renovables de energía sustentable y a que ayuden al crecimiento económico, preservando el ecosistema y la biodiversidad.

4.3 Norma para el Ahorro Energético en los Edificios NOM 008 y Vivienda NOM 020.

La Secretaría de Energía, por conducto de la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía, en el año de 1993, crea el comité Consultivo Nacional de Normalización para la Preservación y Uso Racional de los Energéticos; ésta se encarga de elaborar y vigilar el cumplimiento de normas para la eficiencia energética publicadas en el *Diario Oficial de la Federación*.

Las normas publicadas van desde el aprovechamiento eficiente de la energía en equipos de enfriamiento, calentamiento, iluminación, hasta la eficiencia en algunos electrodomésticos. Pero son las Normas relacionadas con el diseño térmico en edificios las se revisarán en este documento.

NOM-008-ENER-2001. Esta norma se centra en el diseño de la envolvente para edificios no residenciales con el propósito de tener un uso eficiente de la energía dentro del inmueble.

La NOM 008 tiene el propósito de hacer un uso racional de la energía en los sistemas de enfriamiento. Debe ser cumplida principalmente por los edificios nuevos y a edificios existentes que vayan a sufrir alguna modificación.

El formato ofrecido permite realizar el cálculo de ganancias de transferencia de calor, conductividad y aislamiento térmico de los diferentes materiales que componen el sistema constructivo del edificio, así como su presupuesto energético.

El cálculo se realiza por cada uno de los componentes del edificio (techo, pared, superficie interior y exterior) y así determinar si la parte del edificio es opaca (muros, losas) o no opaca (ventanas, tragaluces)

El procedimiento consiste en comparar los resultados de ahorro energético entre *el edificio proyectado* (o el edificio que se pretende construir) y *el edificio de referencia* (edificio que conserva la misma orientación, ubicación y las mismas dimensiones) para determinar un gasto energético máximo.

A continuación se presenta un ejemplo del resultado final del presupuesto energético entre dos edificios similares, uno de referencia y otro por proyectar siguiendo las sugerencias de diseño de la NOM 008.


5.- Resumen de Cálculo

5.1.- Presupuesto Energético

		Ganancia por Conducción		Ganancia por Radiación		Ganancia Total
Referencia	rc	6977.79	rs	12987.30	r	19965.08
Proyectado	pc	7243.13	ps	2529.09	p	9772.22

5.2.- Cumplimiento

Si	$r > p$	x	No	$r < p$	
				51.05	%

EFICIENCIA ENERGÉTICA																							
Ganancia de Calor																							
Determinada como se establece en la NOM-008-ENER-2001																							
Ubicación de Edificación																							
Nombre:	Centro Cultural para la Conservación																						
Dirección:	--																						
Colonia:	o																						
Ciudad:	Lagunas de Montebello																						
Delegación y/o municipio	---																						
Entidad Federativa:	Chiapas																						
Código Postal:	--																						
Ganancia de Calor del Edificio de Referencia (Watts)	19,965.08																						
Ganancia de Calor del Edificio Proyectado (Watts)	9,772.22																						
Ahorro de Energía																							
<div style="text-align: center;">  </div>																							
<div style="text-align: center;"> <table border="1"> <thead> <tr> <th>0%</th> <th>10%</th> <th>20%</th> <th>30%</th> <th>40%</th> <th>50%</th> <th>60%</th> <th>70%</th> <th>80%</th> <th>90%</th> <th>100%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="5" style="text-align: left;">Menor Ahorro</td> <td></td> <td colspan="5" style="text-align: right;">Mayor Ahorro</td> </tr> </tbody> </table> </div>		0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	Menor Ahorro						Mayor Ahorro				
0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%													
Menor Ahorro						Mayor Ahorro																	
Fecha:	1 de diciembre de 2009																						
Nombre y Clave de la Unidad de Verificación:	Francisco Fernandez Melchor																						
Importante																							
<p>Cuando la ganancia de calor del edificio proyectado sea igual a la del edificio de referencia el ahorro será del 0% y por lo tanto cumple con la norma. La etiqueta no debe retirarse del edificio.</p>																							

La NOM 008 no considera el diseño bioclimático como una determinante para el ahorro energético y por el contrario, presta más atención a la relación entre muros y ventanas para obtener las ganancias por conducción y por radiación, sin contemplar un factor importante como lo es la iluminación natural.

NOM-020-ENER-2001. Esta NOM es una extensión de la anterior y se aplica de forma similar, pero ahora en vivienda o edificios de hasta tres niveles, nuevos o en los edificios ya existentes en los que se realicen ampliaciones. La obtención de la eficiencia energética dentro de un edificio de tal característica tiene el propósito de mejorar el diseño de la envolvente y lograr un confort térmico para los ocupantes con el menor consumo energético. Por lo regular esta se ocupa de viviendas.

Esta medida pretende disminuir el consumo eléctrico producto de la climatización artificial en las zonas cálido secas de la Republica Mexicana y así minimizar el uso de equipos de enfriamiento; principal razón del alza en el consumo energético en estas regiones.

Esta es muy similar a la anterior, pues también se realiza un cálculo de las ganancias de calor a través de la envolvente en un edificio de referencia en comparación con un edificio proyectado, y las de este ultimo deberán reflejar un ahorro en energía para ser aprobado.



CAPÍTULO 5

CONSUMO ENERGÉTICO DE LA VIVIENDA EN MÉXICO

CAPÍTULO 5

CONSUMO ENERGÉTICO DE

LA VIVIENDA EN MÉXICO

CAPÍTULO 5

CONSUMO ENERGÉTICO DE LA VIVIENDA EN MÉXICO

5.1 Problemática Actual de la Energía en México

La actual situación financiera de México ha tenido una importante desaceleración, producto de la economía internacional y esto se refleja en el nivel de producción de energía e hidrocarburos. Un ejemplo de la disminución en la producción se aprecia al comparar el producto interno bruto (Figura 32) de 2006 y 2007, 5.4% y 3.4% respectivamente a tan solo 1.3% para el 2008.

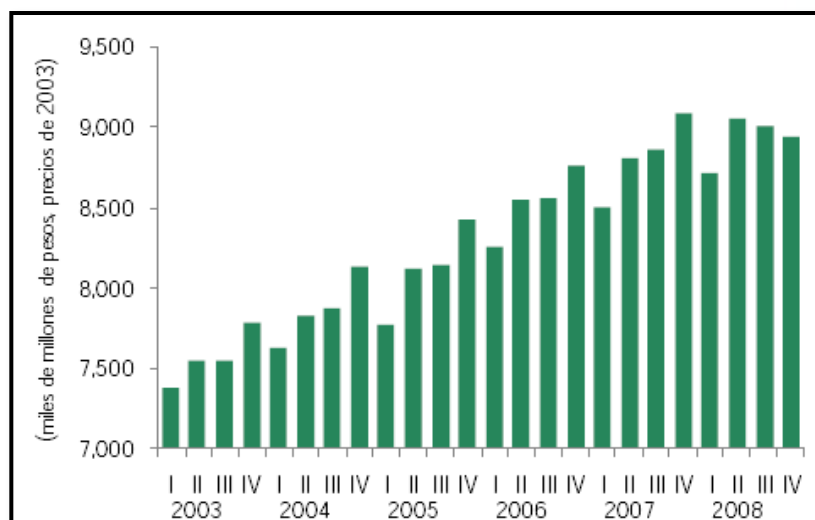


Figura 32. Producto Interno Bruto. Fuente: INEGI.

La producción de energía primaria (Figura 33) para el 2008 fue de 10,500.16 petajoules (PJ), un 0.2% menos que lo registrado en 2007. Esta disminución se vio reflejada principalmente en los hidrocarburos, por ejemplo la producción de crudo se redujo un 5.8%.

Los hidrocarburos aportaron el mayor porcentaje de los energéticos, con un 89.1% a pesar de haber disminuido un 0.9% respecto al 2007 (entre ellos el petróleo crudo y el gas natural). La producción de energía eléctrica, segundo en importancia después de los hidrocarburos marcó un 5.7% superior respecto al año anterior, cabe resaltar que la electricidad es generada por distintas energías: el 68.3% proviene de la hidroeléctrica; el 18.8%, de la nuclear, 12.4% de la geoenergía y el 0.5% de energía eólica.

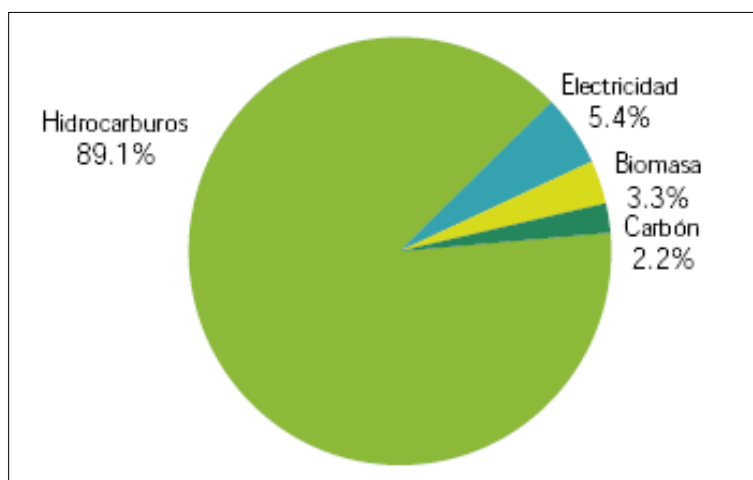


Figura 33. Producción de Energía Primaria. Fuente: SENER.

Posteriormente la energía primaria es procesada en centros de transformación: refinerías, plantas de gas y centrales eléctricas, entre otras. Por su parte, las centrales eléctricas incrementaron su participación en 0.1 puntos porcentuales, al pasar de 772.82 PJ en 2007 a 782.72 PJ en 2008 (SENER, 2009).

El consumo nacional de energía (Tabla 2) aumentó respecto a 2008 un 5.7% (8,246.96 PJ) correspondiente a un incremento del 1.4% en el consumo de energía eléctrica. Como resultado, los estudios realizados por la Secretaría de

Energía demuestran que en los últimos años ha disminuido la producción de energéticos y ha aumentado la demanda en nuestro país (SENER 2011).

	2008	2009	Variación porcentual (%) 2009/2008	Estructura porcentual 2008 %	2009 %
<i>Consumo nacional</i>	<i>8,297.08</i>	<i>8,246.96</i>	<i>-0.5</i>	<i>100</i>	<i>100</i>
Consumo sector energético	2,565.06	2,826.55	10.2	30.9	34.3
Consumo transformación	1,532.26	1,805.05	17.8	18.5	21.9
Consumo propio	853.86	837.04	-2.0	10.3	10.1
Pérdidas por distribución	178.93	184.45	3.1	2.2	2.2
Recirculaciones	556.42	627.88	12.8	6.7	7.6
Diferencia estadística	40.18	-2.71	-	0.5	0.0
Consumo final total	5,129.43	4,795.24	-6.5	61.9	58.1
Consumo no energético	221.33	227.17	2.6	2.7	2.8
Consumo energético	4,908.10	4,568.07	-6.9	59.2	55.4

Tabla 2. Consumo Nacional de Energía. Fuente: SENER.

5.2 Consumo Energético por Sector y Tipo

En México las cifras oficiales proporcionadas por la Secretaría de Energía (SENER) en el Balance Nacional de Energía 2009 nos señalan que el consumo final energético (Figura 33) alcanzó los 4,568.1 PJ, siendo el sector transporte el mayor consumidor de energía con 49%; el sector industrial representó el 28%, mientras que el subsector residencial, comercial y público registró un 20%; y finalmente el sector agropecuario únicamente aportó un 3% .

El consumo del sector residencial, en el que se centra la investigación, fue de 913 PJ, representando un aumento, respecto a cifras del año 2008, en las que sólo se reportó 750.13 PJ. Las fuentes de energía de mayor consumo en este sector fueron: el gas licuado de petróleo con 38.4% y la leña con 28.5%; mientras que la

electricidad aportó el 27.8% (aumento del 5% respecto al año pasado); el gas seco, 4.1% y los querosenos sólo aportaron el 0.1%.

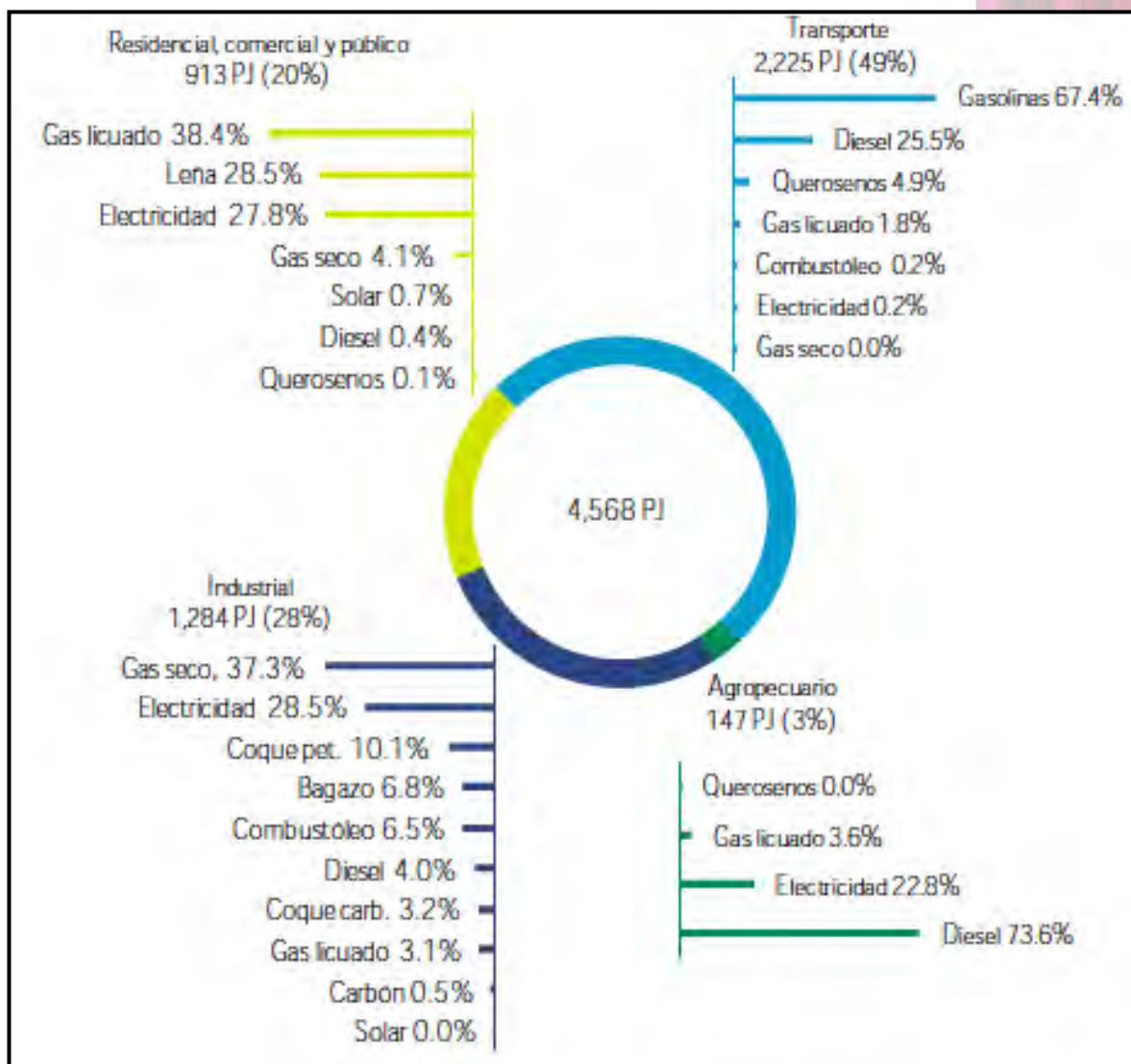


Figura 33. Consumo final de Energía por Sector y Tipo. Fuente: SIE.

Por su parte, el sector comercial disminuyó su consumo de energía de 125.44 PJ en 2007 a 125.23 PJ en 2008; mientras que el sector público consumió 25.47 PJ de electricidad en 2008, cifra 3.89% superior a la registrada en 2007. Otro

importante sector es el transporte, cuyo último reporte informa de una disminución de 8.6% en comparación a 2008.

Por otro lado el sector industria presentó un retroceso del 8.5% respecto a 2008. En la industria existen diferentes ramas que contribuyen al consumo energético (Figura 34 y 35) una de éstas que concierne con la investigación es la rama de la construcción.

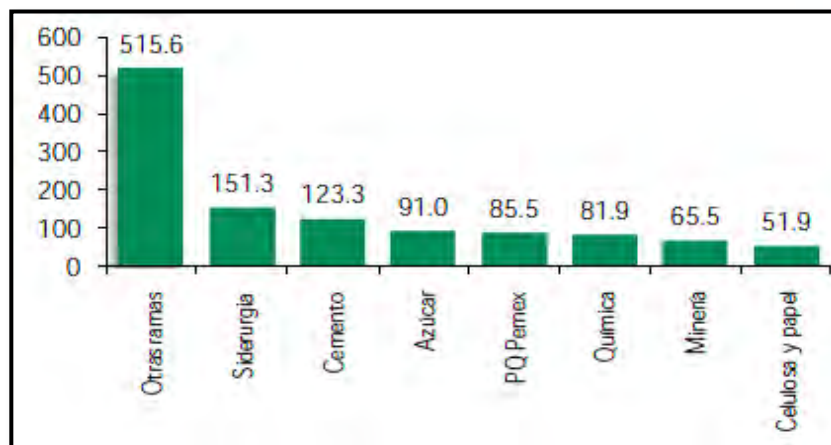


Figura 34. Consumo de Energía en Petajoules por Rama. Fuente: SIE.

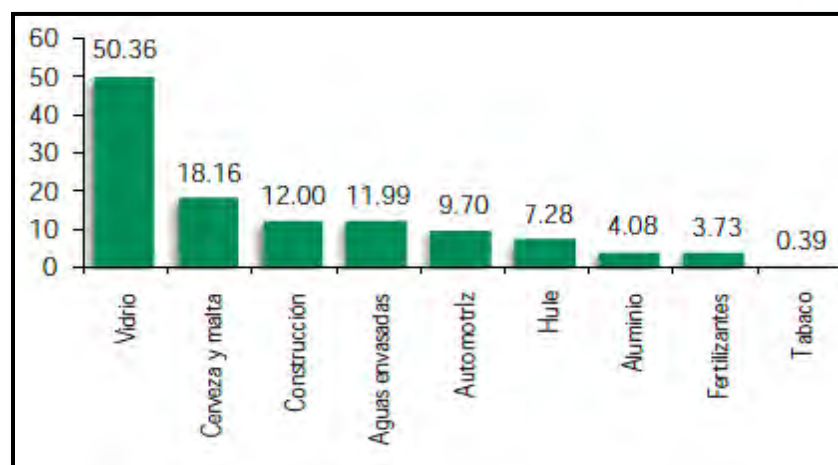


Figura 35. Consumo de Energía Porcentual por Rama. Fuente: SIE.

La industria de la construcción consumió 12 PJ en 2009 para la operación de su equipo, sin incluir la flota de transporte. Este consumo representó 0.9% del total industrial. Esta rama únicamente utilizó diesel y electricidad, con participaciones equivalentes a 86.0% y 14.0%, respectivamente (SENER 2011). No existe la posibilidad de contar con mayor información pues el transporte de material a las obras y el número de éstas, no se encuentran contempladas, así que las cifras anteriores se pueden representar realmente con un incremento aún desconocido.

5.3 Tarifas de Cobro para el Sector Doméstico según la Temperatura de la Región

La Comisión Federal de Electricidad, CFE, es la encargada de asignar una tarifa de cobro al subministro de energía en kWh para el sector doméstico, tomando en cuenta la temperatura media mínima en verano. Es claro que en verano, y principalmente en regiones cálidas, existe una mayor demanda de energía, por tal motivo CFE ha dispuesto una serie de tarifas según la región o sector al que se pertenece. En el sector vivienda se han dispuesto las siguientes tarifas:

1 Doméstico. Esta tarifa se aplica para la energía destinada sólo para el sector doméstico, residencias o viviendas; es única y se suministra en baja tensión.

1A Doméstico con temperatura media mínima en verano de 25° C. Está destinada en localidades cuya energía es para uso doméstico en viviendas conectadas a cualquier carga y se aplica en los seis meses consecutivos más cálidos.

1B Doméstico con temperatura media mínima en verano de 28° C. Se aplica en energía eléctrica destinada para uso doméstico sin importar la carga a la que se conecte. Ésta cuenta con dos cuotas, la primera comprende los seis meses consecutivos más cálidos del año y la otra, los meses restantes.

1C Doméstico con temperatura media mínima en verano de 30° C. Se aplica como la anterior 1B, en la que la energía destinada para uso doméstico, sin importar la carga a la que se conecte y cuenta con dos cuotas, la primera comprende los seis meses consecutivos más cálidos del año y otra cuota para los meses restantes.

1D Doméstico con temperatura media mínima en verano de 31° C. Estas regiones cálidas constan, igualmente, de energía para uso doméstico cualquiera que sea la carga en las viviendas y cuenta con dos cuotas, la primera comprende los seis meses consecutivos más cálidos del año y otra cuota para los meses restantes.

1E Doméstico con temperatura media mínima en verano de 32° C y 1F Doméstico con temperatura media mínima en verano de 33° C sigue siendo aplicada de igual manera que las anteriores: la energía para uso doméstico, cualquiera que sea la carga cuenta con dos tarifas

El subsidio para las tarifas en el sector doméstico (Tabla 3) para el 2008 presentaron variaciones por debajo de la inflación y éstas no se vieron impactadas por los importantes incrementos en los precios de los combustibles. Lo que en términos reales se ha traducido en un mayor subsidio implícito a los usuarios en

estas tarifas por ello es de vital importancia reducir el gasto de energía eléctrica en las viviendas, producto de la climatización artificial para enfriamiento en estas regiones con climas cálidos.

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	Var. (%) 2008/2007
Doméstico	0.81	0.82	1.00	1.04	1.04	1.04	1.07	1.07	1.06	-0.63
1	0.80	0.82	0.95	0.98	0.97	0.98	0.96	0.95	0.93	-2.72
1A	0.76	0.77	0.88	0.89	0.87	0.89	0.90	0.90	0.88	-2.92
1B	0.88	0.91	0.93	0.92	0.91	0.92	0.93	0.93	0.90	-3.06
1C	0.78	0.80	0.89	0.93	0.93	0.95	0.97	0.98	0.95	-2.98
1D	0.80	0.83	0.87	0.89	0.90	0.89	0.92	0.93	0.93	0.55
1E	0.72	0.73	0.86	0.81	0.81	0.83	0.84	0.84	0.82	-2.93
1F	-	-	0.75	0.81	0.80	0.81	0.83	0.85	0.82	-3.16

Tabla 3. Tarifa del Sistema Eléctrico Nacional (pesos por kWh) Fuente: CFE.

5.4 Consumo Energético en Climas Cálido Secos y su Localización

La vivienda localizada en regiones con un clima cálido extremoso reporta un mayor consumo de energía eléctrica causada por el uso de equipos de aire acondicionado y otros sistemas de climatización artificial para enfriar las casas y lograr a niveles aceptables de confort por parte de los usuarios.

Los climas cálido secos muy calurosos en verano, se ubican en la mayor extensión del territorio nacional, ocupando una gran parte del norte del país desde parte de los estados de Baja California Norte y Baja California Sur, Sonora,

Chihuahua, Coahuila, y Nuevo León, y regiones de Tamaulipas, Durango, Zacatecas y San Luis Potosí (Figura 35).

El clima en estos estados se caracteriza por temperaturas generalmente elevadas: en verano, mayor a los 30°C y muy bajas para invierno, de menos de 14°C; por otra parte la oscilación durante todo el año es muy alta, con más de 13°C de diferencia. Son lugares muy secos con un muy bajo nivel de precipitación, que no sobrepasa generalmente los 50 mm en el mes más lluvioso.

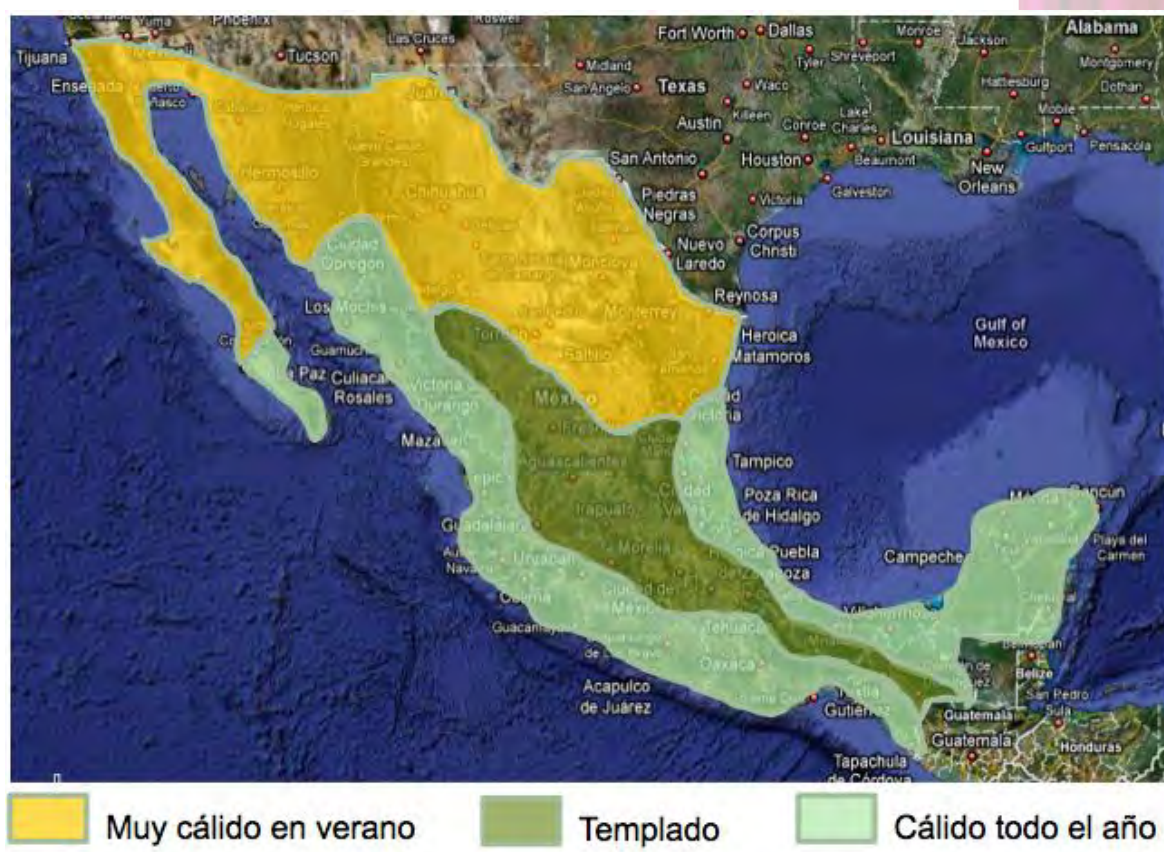


Figura 36. Zonas Climáticas de la República Mexicana. Fuente: <http://maps.google.com.mx/?hl=es>

Las características y condiciones de este clima extremo en verano e invierno son muy diferentes y por ello los habitantes de estas regiones requieren de distintas medidas de climatización.

Por lo regular las personas de escasos recursos son quienes se ven en mayor medida afectados por el clima, ya sea por un mal diseño de las viviendas y uso inapropiado de materiales, así como una mala orientación.

La vivienda en los climas cálido secos debería contar con algún tipo de aislante, sin embargo en la mayoría de los casos esto no ocurre; de manera que el consumo eléctrico se eleva considerablemente.

Los equipos de climatización artificial más comunes en estos climas son el minisplit, cooler y ventilador. Regularmente es en los hogares con más recursos económicos donde se consume mayor cantidad de energía eléctrica por un abuso de estos aparatos.

Todo ello demuestra que las viviendas no están construidas para un clima cálido seco, ya que la principal causa del alto consumo de electricidad es producto de los sistemas de climatización.



CAPÍTULO 6

ANÁLISIS CLIMÁTICO DE LA CIUDAD DE MÉXICO ÁREA DE PRUEBAS EN CINVESTAV Y MÓDULOS EXPERIMENTALES

CAPÍTULO 6

ANÁLISIS CLIMÁTICO CIUDAD DE MÉXICO; ÁREA DE PRUEBAS CINVESTAV Y MÓDULOS EXPERIMENTALES

CAPÍTULO 6

ANÁLISIS CLIMÁTICO DE LA CIUDAD DE MÉXICO; ÁREA DE PRUEBAS CINVESTAV Y MÓDULOS EXPERIMENTALES

6.1 Análisis climático de Ciudad de México

Los datos climáticos normalizados de la Ciudad de México provienen de la estación meteorológica de Tacubaya, serán utilizados en la comparación con los obtenidos por los equipos de medición en el área de pruebas del cinvestav. Dichos datos climatológicos fueron obtenidos del Servicio Meteorológico Nacional, dependencia de la Comisión Nacional del Agua; datos observados de las Normales Climatológicas del periodo 2001-2010.

A continuación se ordenan y tabulan los datos climáticos para realizar un análisis y así poder comparar y estudiar los resultados con los obtenidos en las pruebas experimentales realizadas con las propuestas y recomendaciones de diseño bioclimático para climas cálido secos.

Clasificación de climas según el sistema modificado
KÖPPEN-GARCÍA

Tabla 4

Datos Generales

Ciudad:	Tacubaya
Estado:	D.F.
Estación:	ORG. DGACSH
Coordenadas Geográficas:	
Latitud:	19°.24'N
Longitud:	99°.12'Oeste
Altitud:	2308msnm
Periodo de observación:	
Temperatura	30años
Precipitación	30años

Datos Generales del Clima

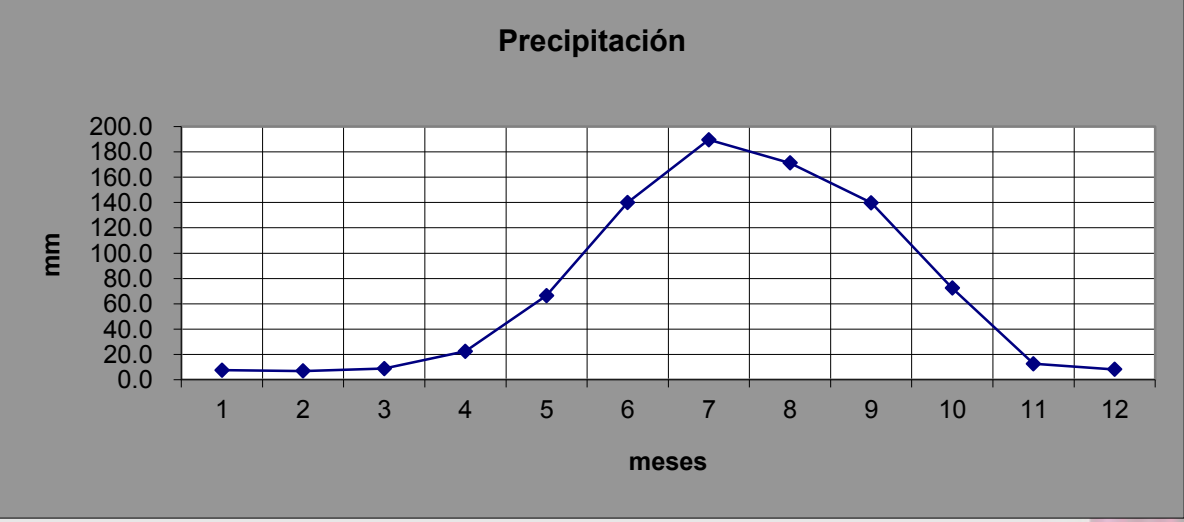
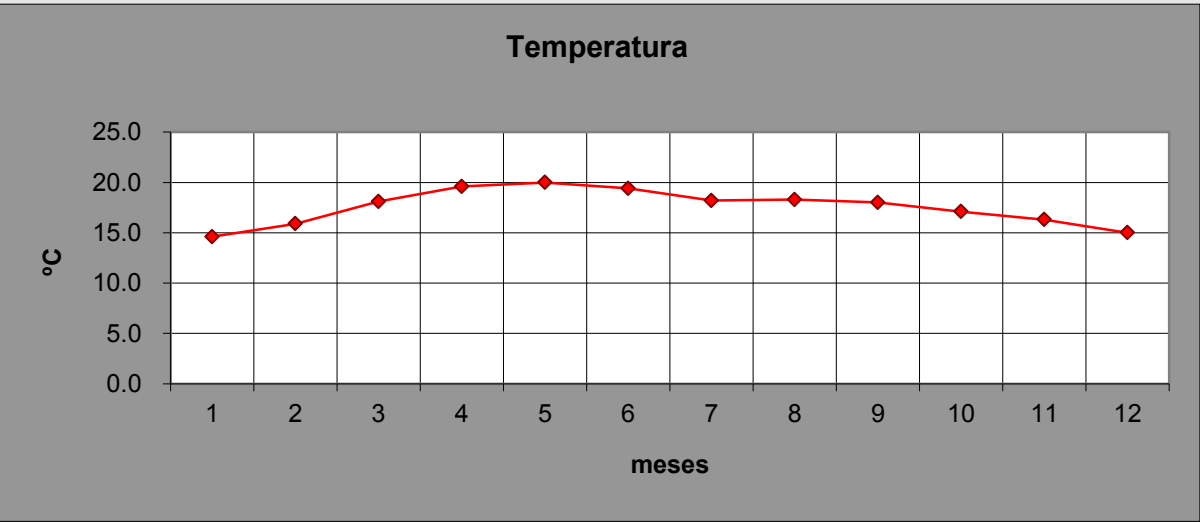
Temp. (°C) ; Prec. (mm)	
Temp. Máxima:	20.0
Temp. Media:	17.5
Temp. Mínima:	14.6
Prec. Máxima:	189.5
Prec. Mínima:	7.0
Prec. Total:	846.2
P/T	48.24
% Prec. Invernal	2.78%
Oscilación	5.4

Grupo climático		CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA
	A	CCb w1(w) (i')g
	B	
	E	
Descripción:		Templado poca oscilación tipo Ganges no ha canícula

Datos Climáticos

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
Temperatura	14.6	15.9	18.1	19.6	20	19.4	18.2	18.3	18.0	17.1	16.3	15.0	17.5
Precipitación	7.6	7.0	8.9	22.5	66.5	140.0	189.5	171.2	139.8	72.4	12.6	8.2	846.2

Gráficas:



Fuente: SMN Conagua. Tablas: Víctor Fuentes.

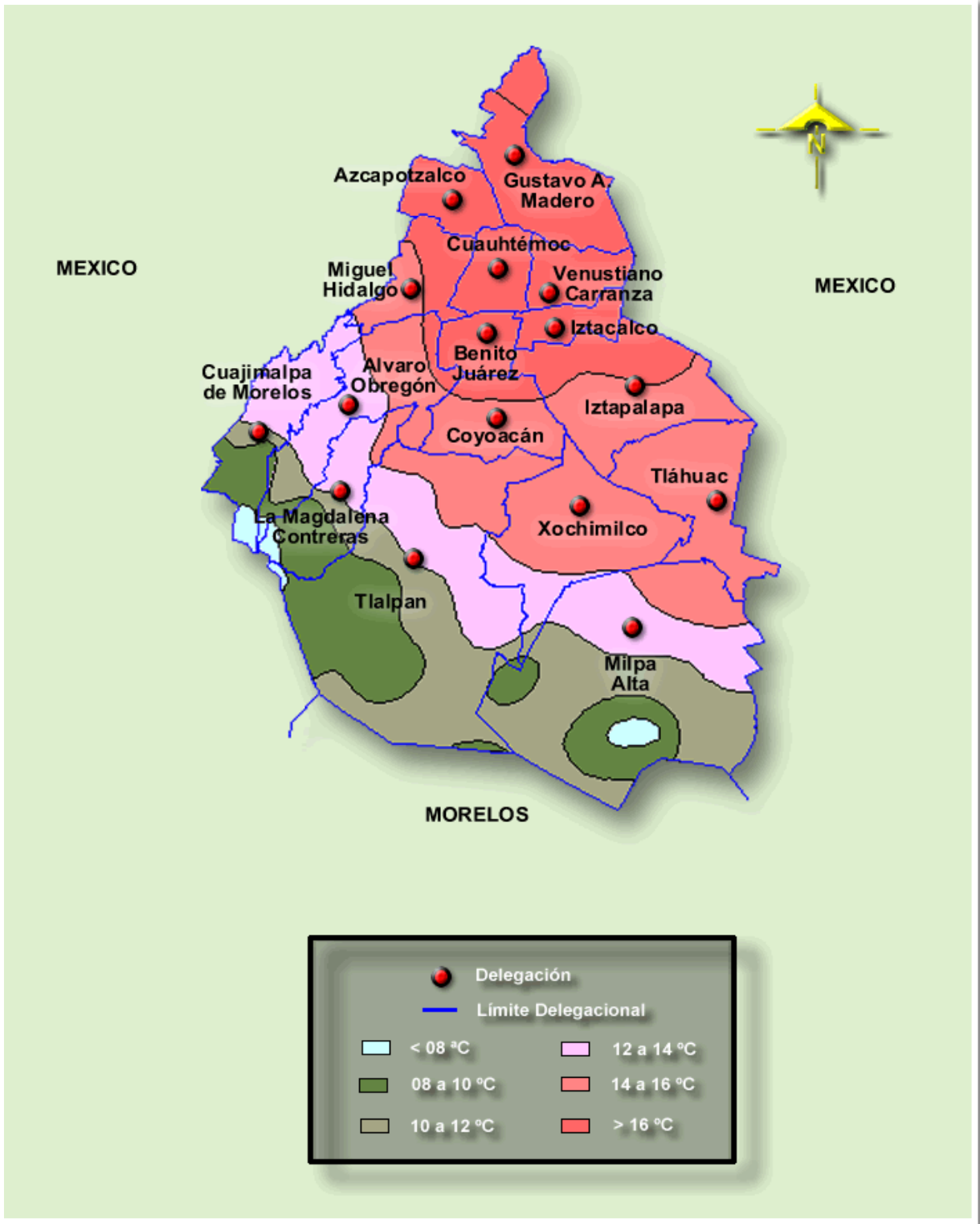


Figura 37^a. Temperaturas. Fuente: <http://mapserver.inegi.org.mx>

6.1.2 TEMPERATURA

La temperatura media anual es de 17.5°C, siendo el mes de Mayo el más cálido con 20°C y el mes más frío Enero con 14.6°C.

Las horas de sobrecalentamiento comienzan desde las 2 de la tarde en los meses de Abril y Mayo, y estas temperaturas elevadas por encima del confort siguen hasta las 6 de la tarde.

Las temperaturas bajas se presentan durante todos los meses del año como en los que prácticamente por las mañanas y las noches se mantiene una temperatura por debajo del confort, aunque esto sea mínimo.

Este tipo de climas templado, a pesar de no ser un clima extremo, presenta una oscilación térmica elevada que en promedio alcanza los 13°C (Figura 37b).

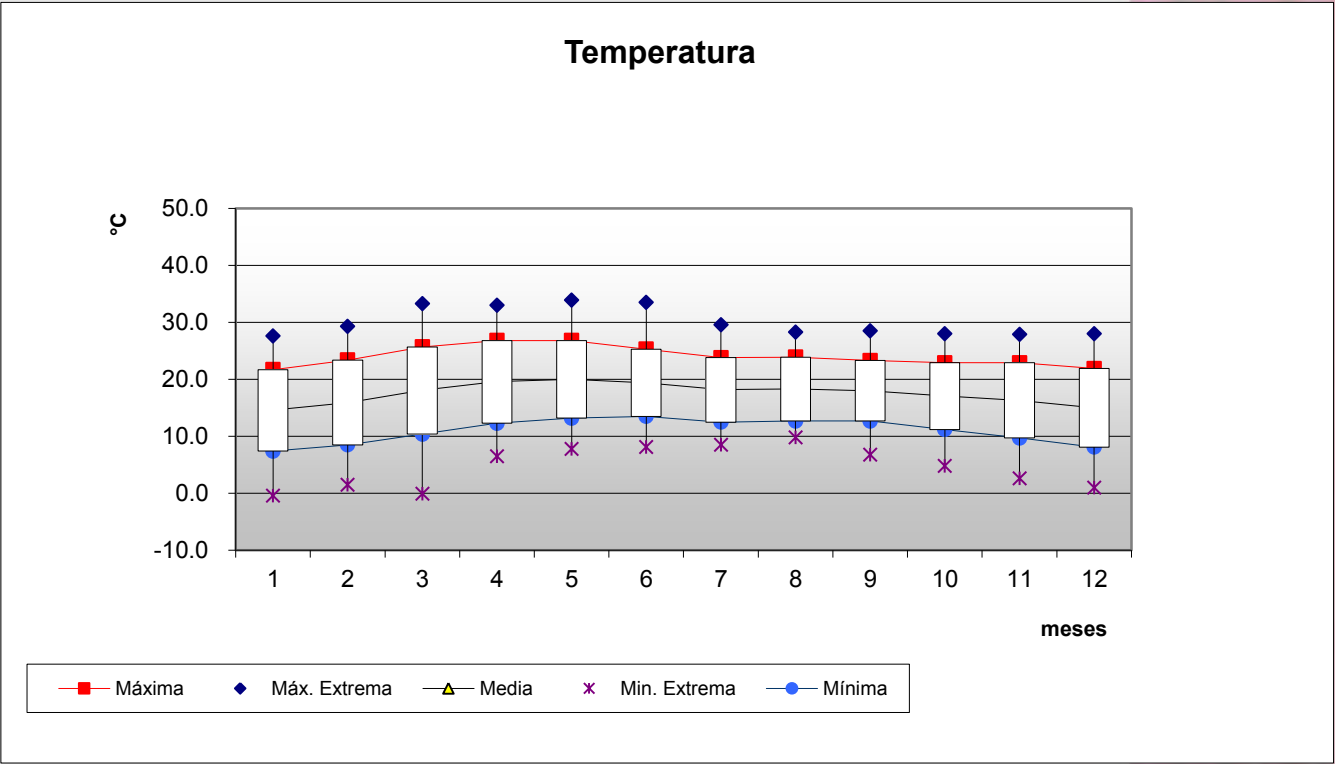


Figura 37b. Gráfica de temperaturas mensuales. Fuente: SMN Conagua.

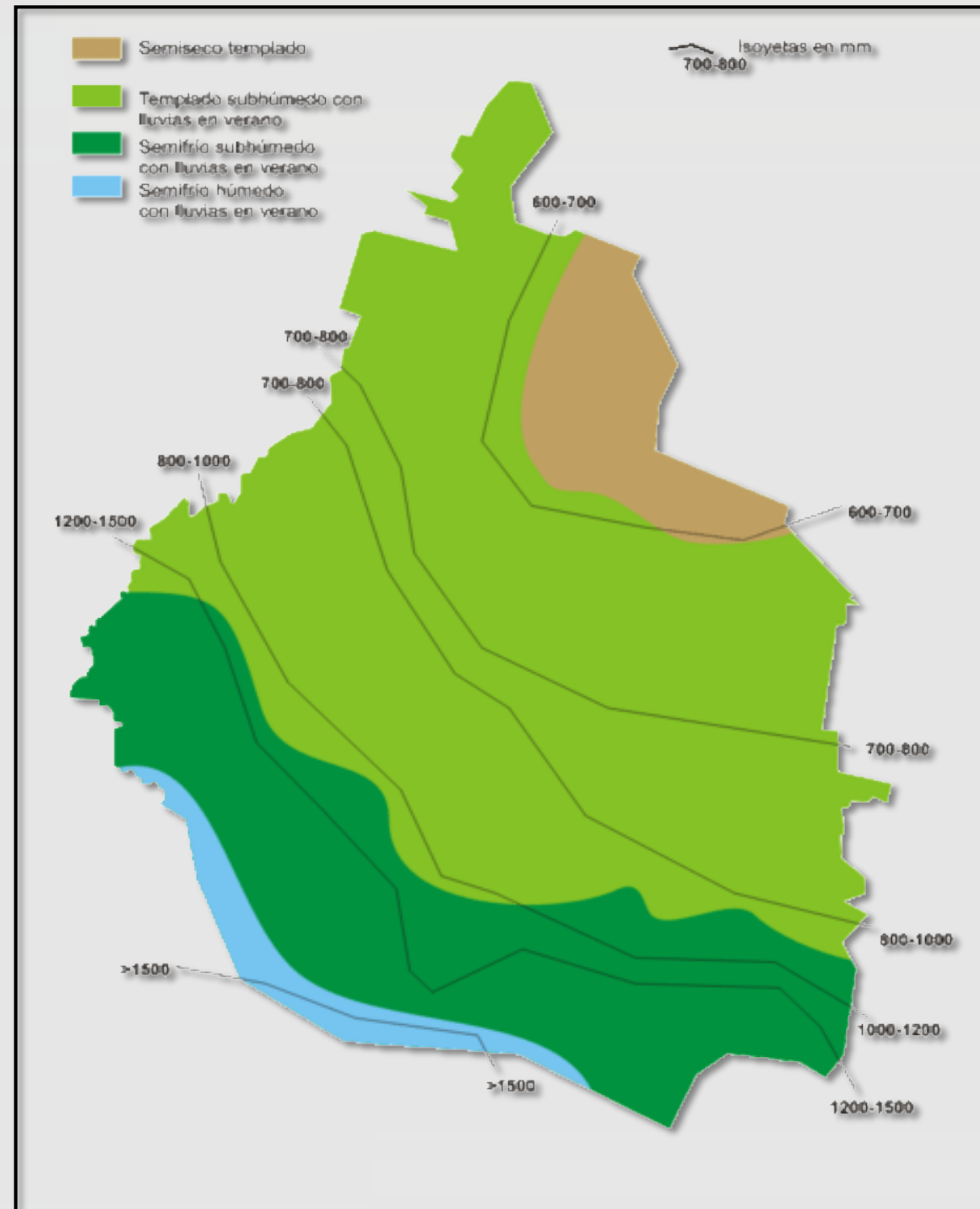


Figura 38a. Climas Predominantes de la Ciudad de México. Fuente: <http://inegi.org>.

6.1.3 HUMEDAD

La ciudad de México presenta un clima templado en su mayoría; pero en cuanto a sus niveles de humedad, sólo la humedad relativa media permanece durante todo el año dentro de los parámetros de confort. La humedad relativa mínima (HR min) en los meses de Febrero, Marzo y Abril se encuentra por debajo de confort, mientras que la humedad relativa máxima (HR máx.) sobrepasa el porcentaje de humedad por encima del 70% durante casi todo el año (Figura 38a y b).

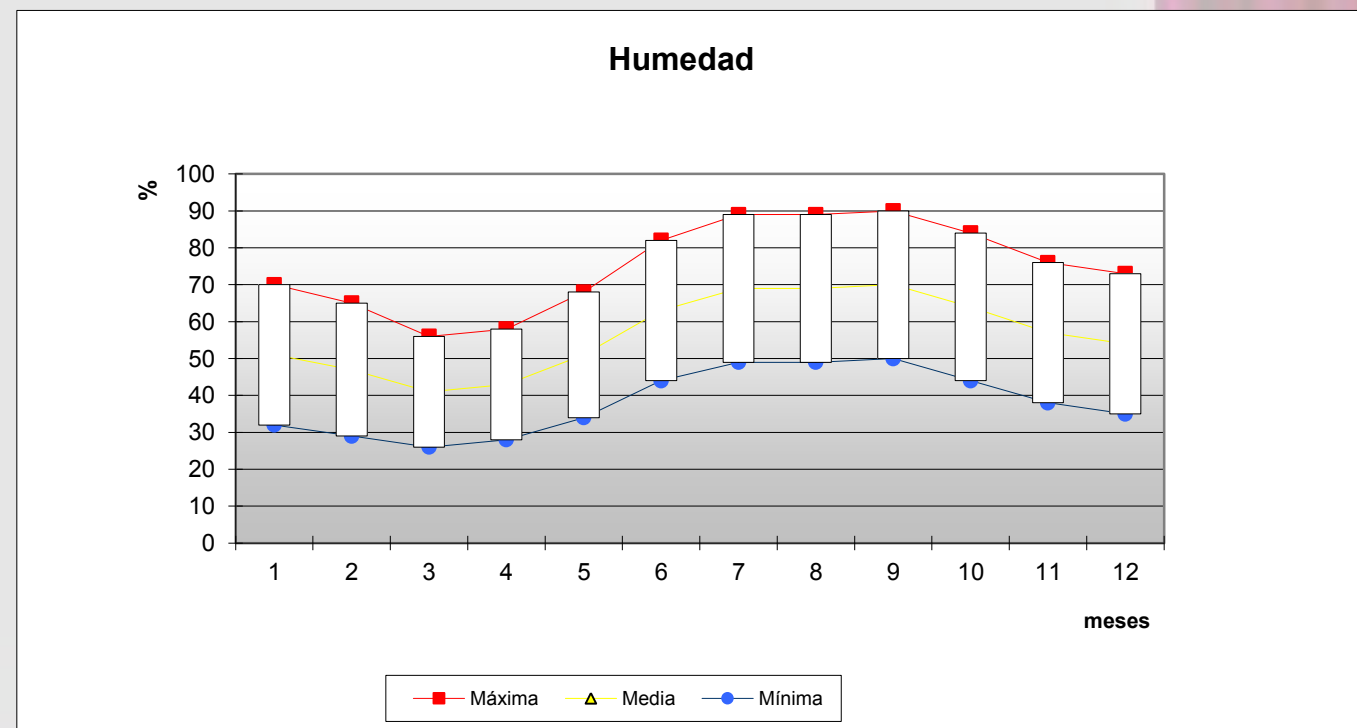


Figura 38b. Gráfica de Humedad Mensual. Fuente: SMN Conagua.

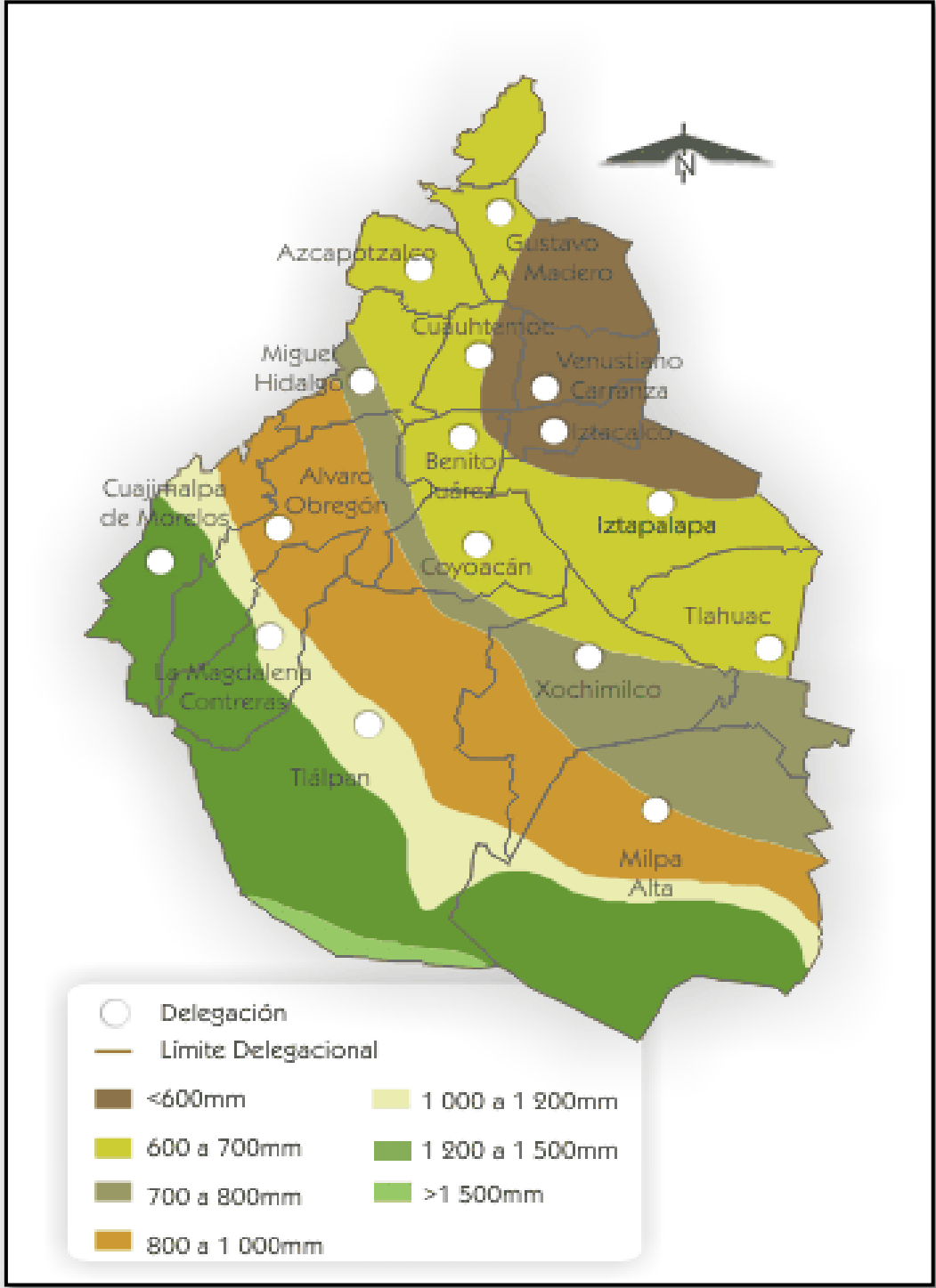


Figura 39ª. Precipitación Pluvial en mm. Fuente: <http://mapserver.inegi.org.mx>

6.1.4 PRECIPITACIÓN

La precipitación pluvial varía durante todo el año (Figura 80), incrementándose notoriamente en los meses de Junio, Julio, Agosto y Septiembre, siendo Julio el mes más lluvioso con 189.5mm. La precipitación media anual en la Ciudad de México es de 846.2mm (Figura 39a y b).

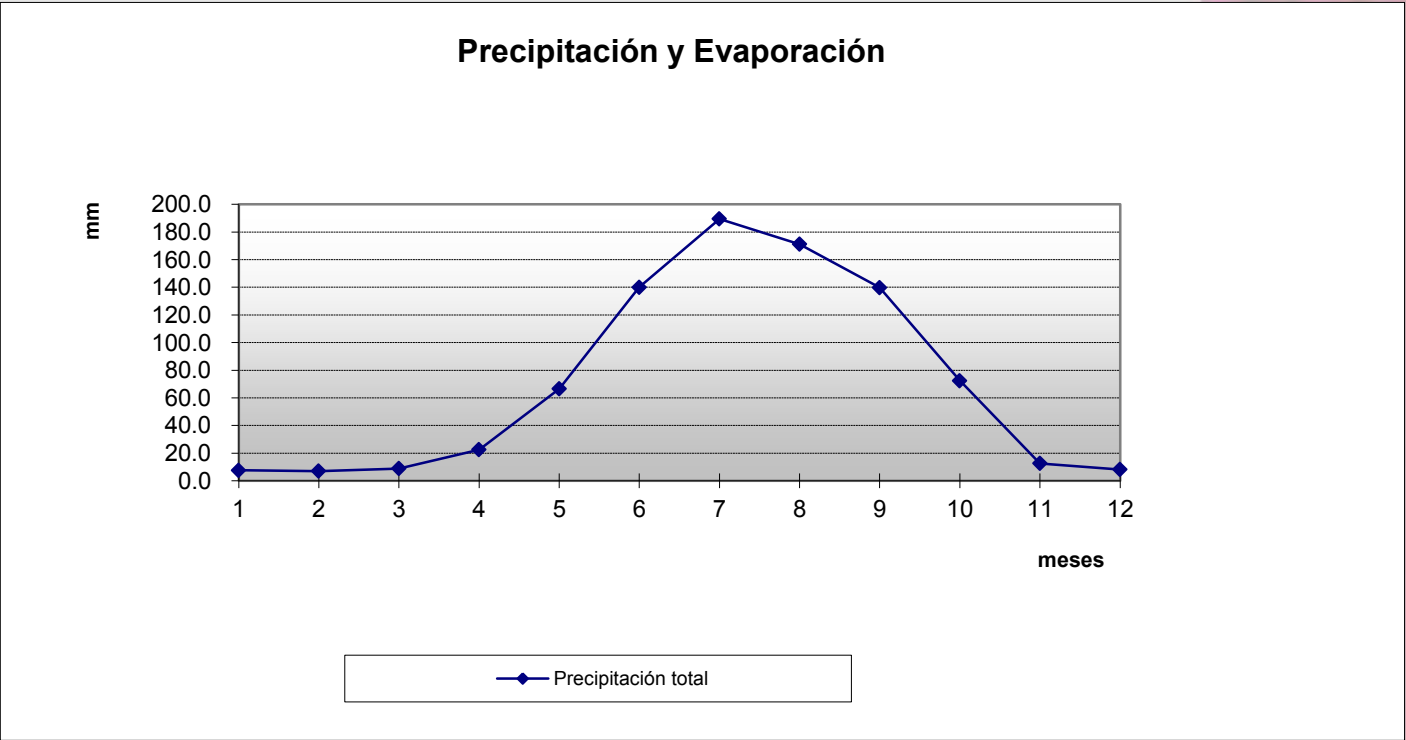


Figura 39b. Gráfica de Precipitación Pluvial Mensual. Fuente: SMN Conagua.

6.1.5 DÍAS GRADO

Una estrategia básica de diseño que señalan los días grado, es necesidad de calentamiento durante todos los meses del año; con la excepción de enfriamiento para la corta época de verano, principalmente para los meses más cálidos como Abril y Mayo, siendo este ultimo el que presenta las temperaturas más elevadas (Figura 40).

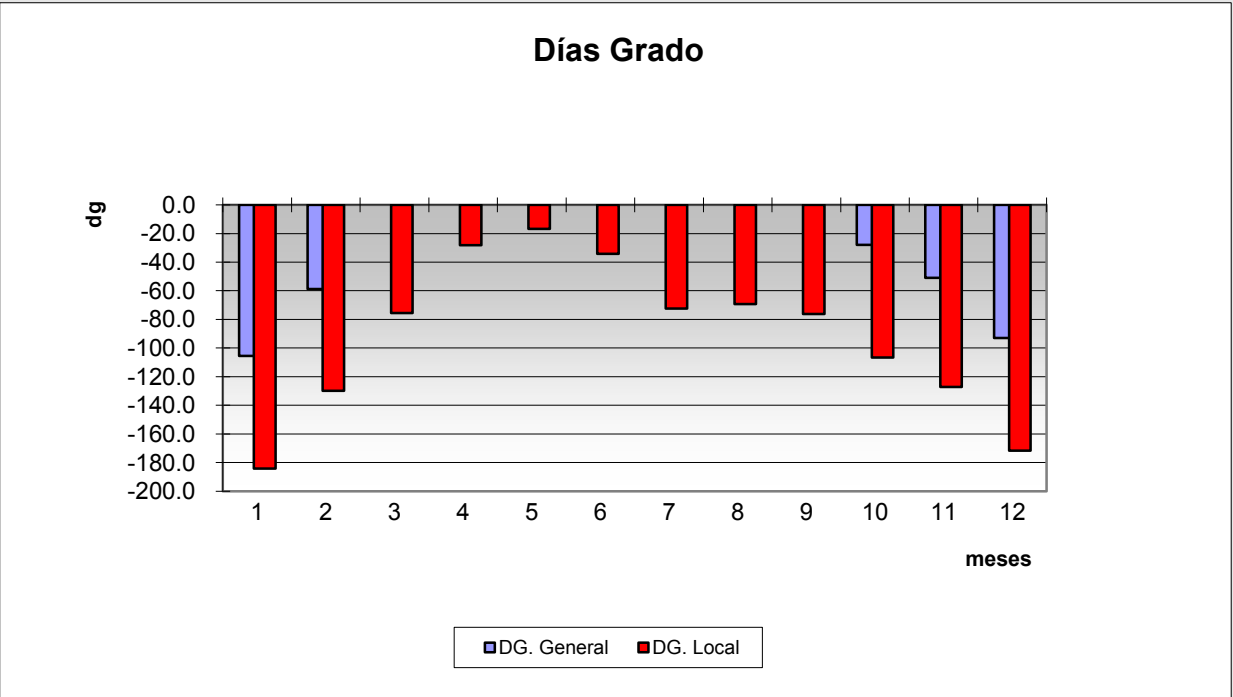


Figura 40. Gráfica Días Grado. Fuente: SMN Conagua.

6.1.6 ÍNDICE OMBROTÉRMICO

El Índice Ombrotérmico (Figura 41) permite apreciar la baja precipitación en los meses de Noviembre a Abril y como ésta incrementa gradualmente de Mayo a Julio después declinarán a un nivel aún aceptable para el mes de Octubre. Se mantiene un ciclo regular entre la época seca y las lluvias durante el año.

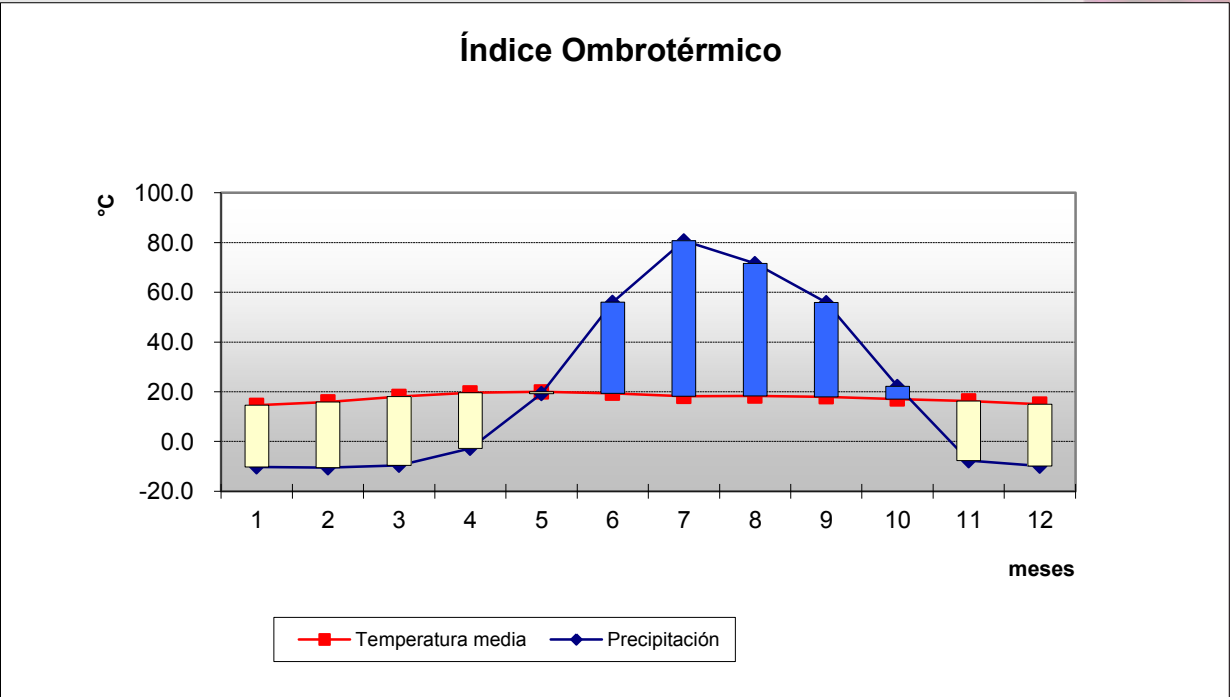


Figura 41. índice Ombrotérmico. Fuente: SMN Conagua.

6.1.7 RADIACIÓN SOLAR

La Radiación Máxima total se presenta en el periodo comprendido de Febrero a Mayo por arriba de los 700W/m2, disminuyendo graduablemente hasta su nivel más bajo en los meses de Noviembre y Diciembre. Cabe señalar que es constante una alta radiación durante prácticamente todo el año. La Radiación Máxima directa llega por debajo de los 500W/m2 en el mes de Mayo y gradualmente disminuye hasta fin de año (Figura 42).

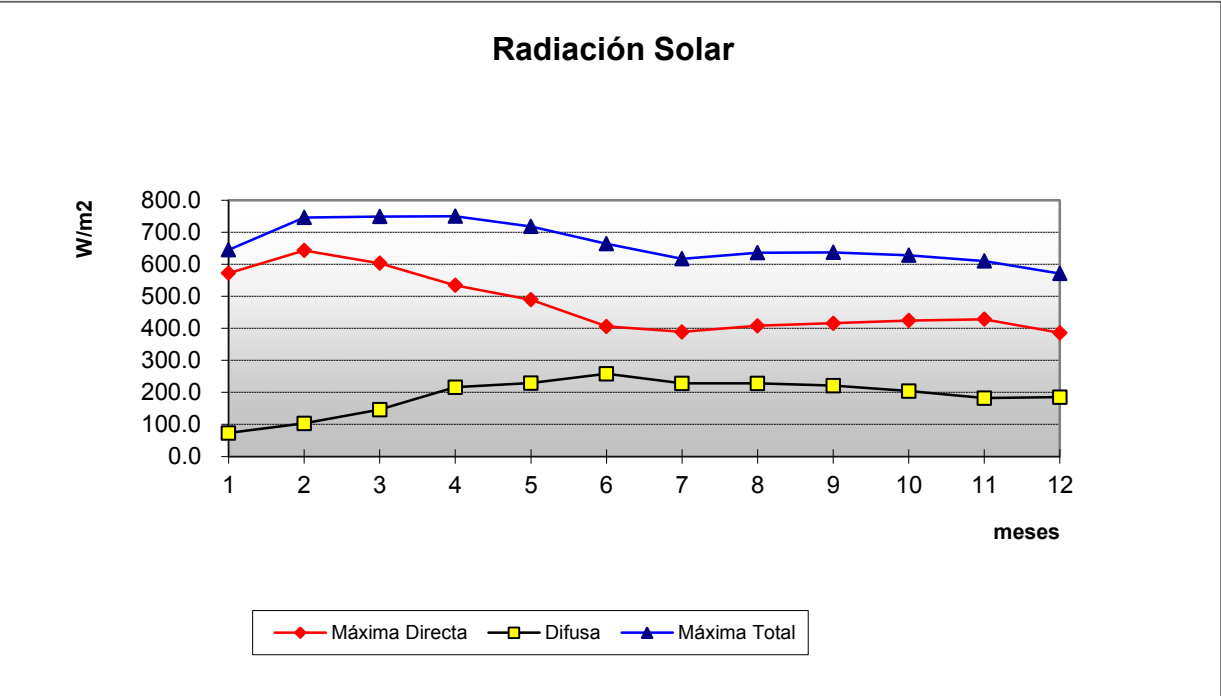


Figura 42. Gráfica de Radiación Solar. Fuente: SMN Conagua.

6.1.8 VIENTO

Los datos de viento son escasos y poco exactos, por tal motivo su medición es difícil; pero se puede deducir que la dirección dominante del viento a lo largo de casi todo el año, proviene del NE con una velocidad media anual de 1.4m/s y una máxima de 2.4m/s (Figura 43).

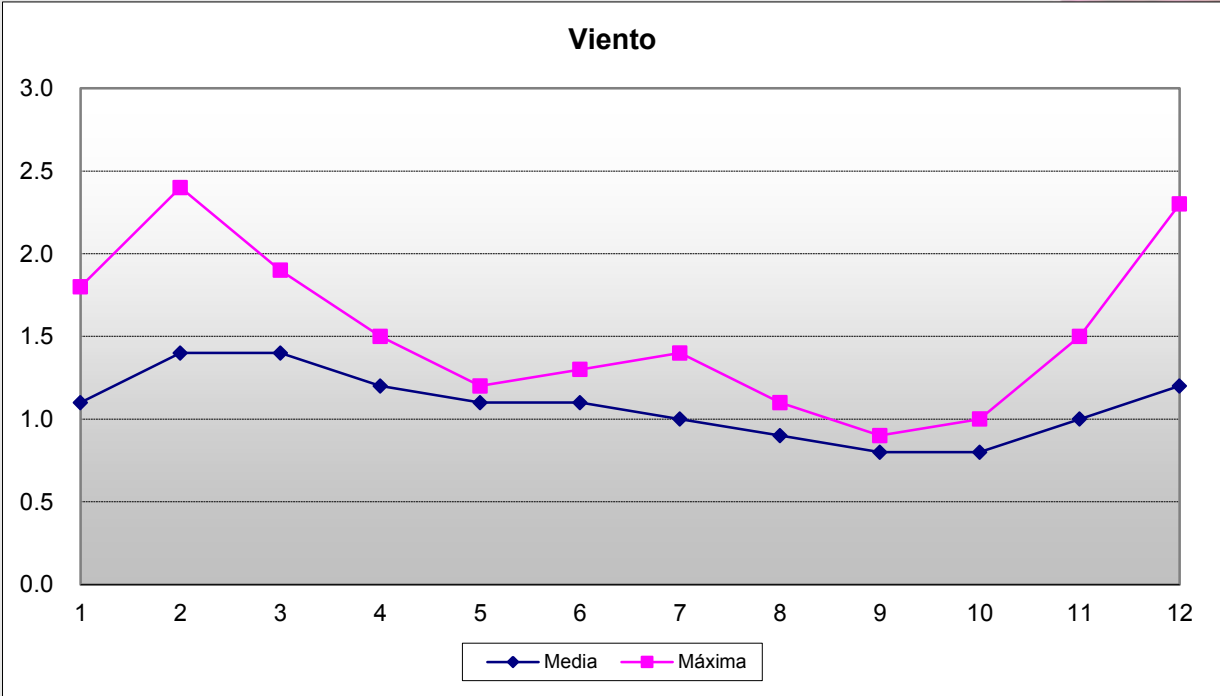


Figura 43. Gráfica Anual de Viento. Fuente: SMN Conagua.

Temperaturas y humedades horarias

Tabla 5

Ciudad de México		1981-2000	
CLIMA		Cb w1 (w)(i')g	
BIOCLIMA		SEMIFRIO	
LATITUD		19°.24'	
LONGITUD		99°.11'	
ALTITUD		2309	msnm

Tn= 23.0

TEMPERATURA				CONFORT	HUMEDAD RELATIVA			
Más de			25.54		Más de			70.0
de	20.5	a	25.54		de	30	a	70
Menos de			20.54		Menos de			30

MES	TM	Tm	Tmed
Enero	21.7	7.4	14.6
Febrero	23.4	8.5	15.9
Marzo	25.7	10.4	18.1
Abril	26.8	12.3	19.6
Mayo	26.8	13.2	20.0
Junio	25.3	13.5	19.4
Julio	23.8	12.5	18.2
Agosto	23.9	12.7	18.3
Septiembre	23.3	12.7	18.0
Octubre	22.9	11.2	17.1
Noviembre	22.9	9.7	16.3
Diciembre	21.9	8.1	15.0
ANUAL	24.0	11.0	17.5

TEMPERATURA																								PRO
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
11.0	9.8	8.8	8.0	7.6	7.4	7.8	9.1	11.0	13.4	15.9	18.2	20.1	21.3	21.7	21.5	21.1	20.4	19.4	18.2	16.9	15.4	13.9	12.4	14.6
12.2	10.9	9.9	9.1	8.7	8.5	8.9	10.2	12.2	14.5	17.1	19.6	21.6	22.9	23.4	23.2	22.7	22.0	20.9	19.6	18.2	16.6	15.0	13.6	15.9
14.3	13.0	11.9	11.1	10.6	10.4	10.9	12.2	14.3	16.8	19.5	21.9	23.9	25.2	25.7	25.5	25.1	24.3	23.2	21.9	20.5	19.0	17.4	15.8	18.1
16.0	14.7	13.7	12.9	12.5	12.3	12.7	14.0	16.0	18.4	20.9	23.2	25.1	26.4	26.8	26.6	26.2	25.4	24.4	23.2	21.9	20.4	18.9	17.4	19.6
16.6	15.5	14.5	13.8	13.3	13.2	13.6	14.8	16.6	18.8	21.2	23.4	25.2	26.4	26.8	26.7	26.2	25.5	24.6	23.4	22.1	20.7	19.3	17.9	20.0
16.5	15.5	14.6	14.0	13.6	13.5	13.9	14.9	16.4	18.4	20.4	22.3	23.9	24.9	25.3	25.2	24.8	24.2	23.3	22.4	21.2	20.0	18.8	17.6	19.4
15.4	14.4	13.6	13.0	12.6	12.5	12.8	13.9	15.4	17.3	19.2	21.0	22.5	23.5	23.8	23.7	23.3	22.7	22.0	21.0	20.0	18.9	17.7	16.5	18.2
15.5	14.6	13.8	13.2	12.8	12.7	13.0	14.0	15.5	17.3	19.3	21.1	22.6	23.6	23.9	23.8	23.4	22.8	22.0	21.1	20.0	18.9	17.7	16.6	18.3
15.4	14.5	13.7	13.2	12.8	12.7	13.0	13.9	15.3	17.1	18.9	20.6	22.1	23.0	23.3	23.2	22.8	22.3	21.5	20.7	19.6	18.6	17.4	16.4	18.0
14.2	13.2	12.3	11.7	11.3	11.2	11.6	12.6	14.2	16.1	18.2	20.0	21.6	22.6	22.9	22.8	22.4	21.8	21.0	20.0	19.0	17.8	16.6	15.3	17.1
13.0	11.9	11.0	10.3	9.8	9.7	10.1	11.2	13.0	15.2	17.4	19.6	21.4	22.5	22.9	22.8	22.3	21.6	20.7	19.6	18.3	17.0	15.6	14.3	16.3
11.6	10.4	9.4	8.7	8.3	8.1	8.5	9.7	11.5	13.8	16.2	18.4	20.3	21.5	21.9	21.7	21.3	20.6	19.6	18.5	17.1	15.7	14.3	12.9	15.0
14.3	13.2	12.3	11.6	11.2	11.0	11.4	12.5	14.3	16.4	18.7	20.8	22.5	23.6	24.0	23.9	23.5	22.8	21.9	20.8	19.6	18.2	16.9	15.5	17.5

MES	HRM	HRm
Enero	70	32
Febrero	65	29
Marzo	56	26
Abril	58	28
Mayo	68	34
Junio	82	44
Julio	89	49
Agosto	89	49
Septiembre	90	50
Octubre	84	44
Noviembre	76	38
Diciembre	73	35
ANUAL	75	38

HUMEDAD RELATIVA																								PRO
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
60	64	66	68	70	70	69	66	61	54	48	42	36	33	32	32	34	36	38	41	45	49	53	57	51
56	59	62	63	65	65	64	61	56	50	44	38	33	30	29	29	31	32	35	38	41	45	49	53	47
48	51	53	55	56	56	55	52	49	44	38	34	30	27	26	26	27	29	31	33	36	39	43	46	41
50	53	55	57	58	58	57	54	51	46	40	36	32	29	28	28	29	31	33	35	38	41	45	48	43
59	62	65	67	68	68	67	64	60	54	48	43	38	35	34	34	35	37	40	42	46	49	53	56	51
72	76	78	80	82	82	81	78	73	66	60	54	48	45	44	44	46	48	50	53	57	61	65	69	63
79	82	85	87	89	89	88	84	79	72	66	59	54	50	49	49	51	53	56	59	63	67	71	75	69
79	82	85	87	89	89	88	84	79	72	66	59	54	50	49	49	51	53	56	59	63	67	71	75	69
80	83	86	88	90	90	89	85	80	73	67	60	55	51	50	50	52	54	57	60	64	68	72	76	70
74	77	80	82	84	84	83	79	74	67	61	54	49	45	44	44	46	48	51	54	58	62	66	70	64
66	70	72	74	76	76	75	72	67	60	54	48	42	39	38	38	40	42	44	47	51	55	59	63	57
63	67	69	71	73	73	72	69	64	57	51	45	39	36	35	35	37	39	41	44	48	52	56	60	54
66	69	71	73	75	75	74	71	66	60	53	47	42	39	38	39	40	42	44	47	51	55	59	62	57

Fuente: SMN Conagua. Tablas: Víctor Fuentes.

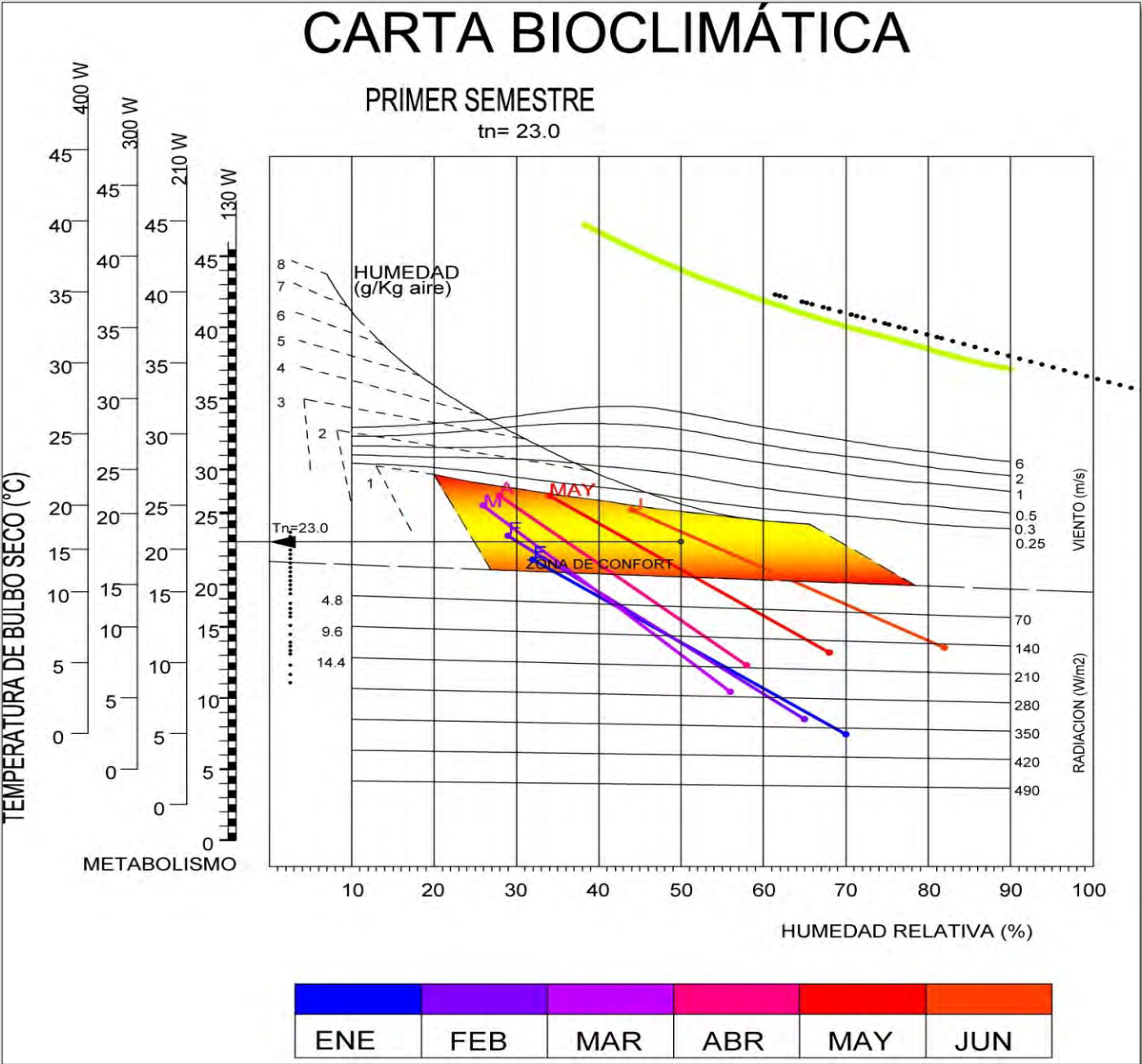


Figura 44 a. Carta Bioclimática Primer Semestre. Fuente: Autor. Programa: AutoCad.

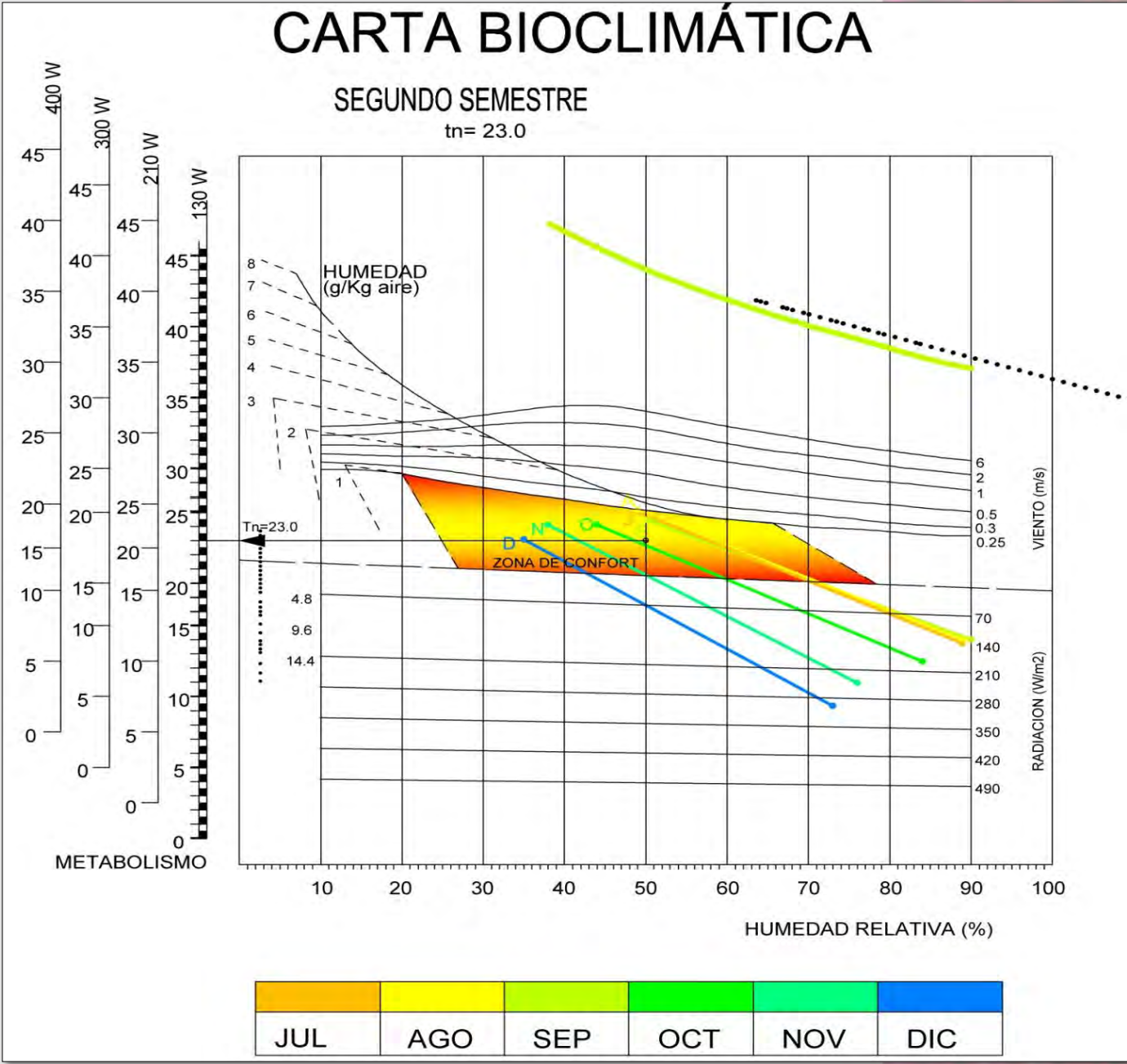


Figura 44 b. Carta Bioclimática Segundo Semestre. Fuente: Autor. Programa: AutoCad.

CARTA PSICROMÉTRICA

Presión Barométrica: 77.10kPa
Ciudad de México
Primer Semestre

- ENERO
- FEBRERO
- MARZO
- ABRIL
- MAYO
- JUNIO

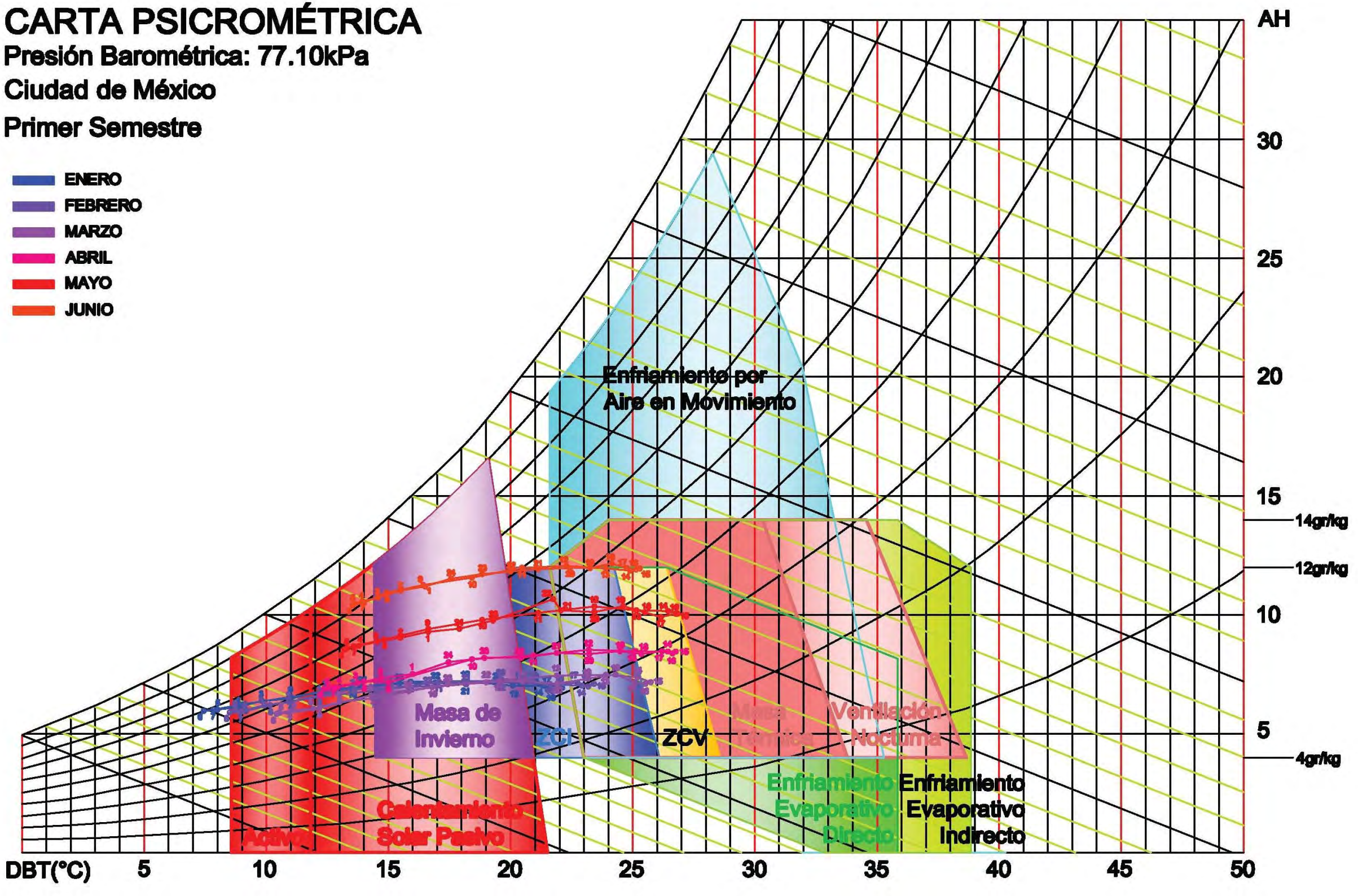


Figura 45a. Diagrama Psicrométrico (primer semestre). Fuente: Autor. Programa: AutoCad.

CARTA PSICROMÉTRICA

Presión Barométrica: 77.10kPa

Ciudad de México

Segundo Semestre

- JULIO
- AGOSTO
- SEPTIEMBRE
- OCTUBRE
- NOVIEMBRE
- DICIEMBRE

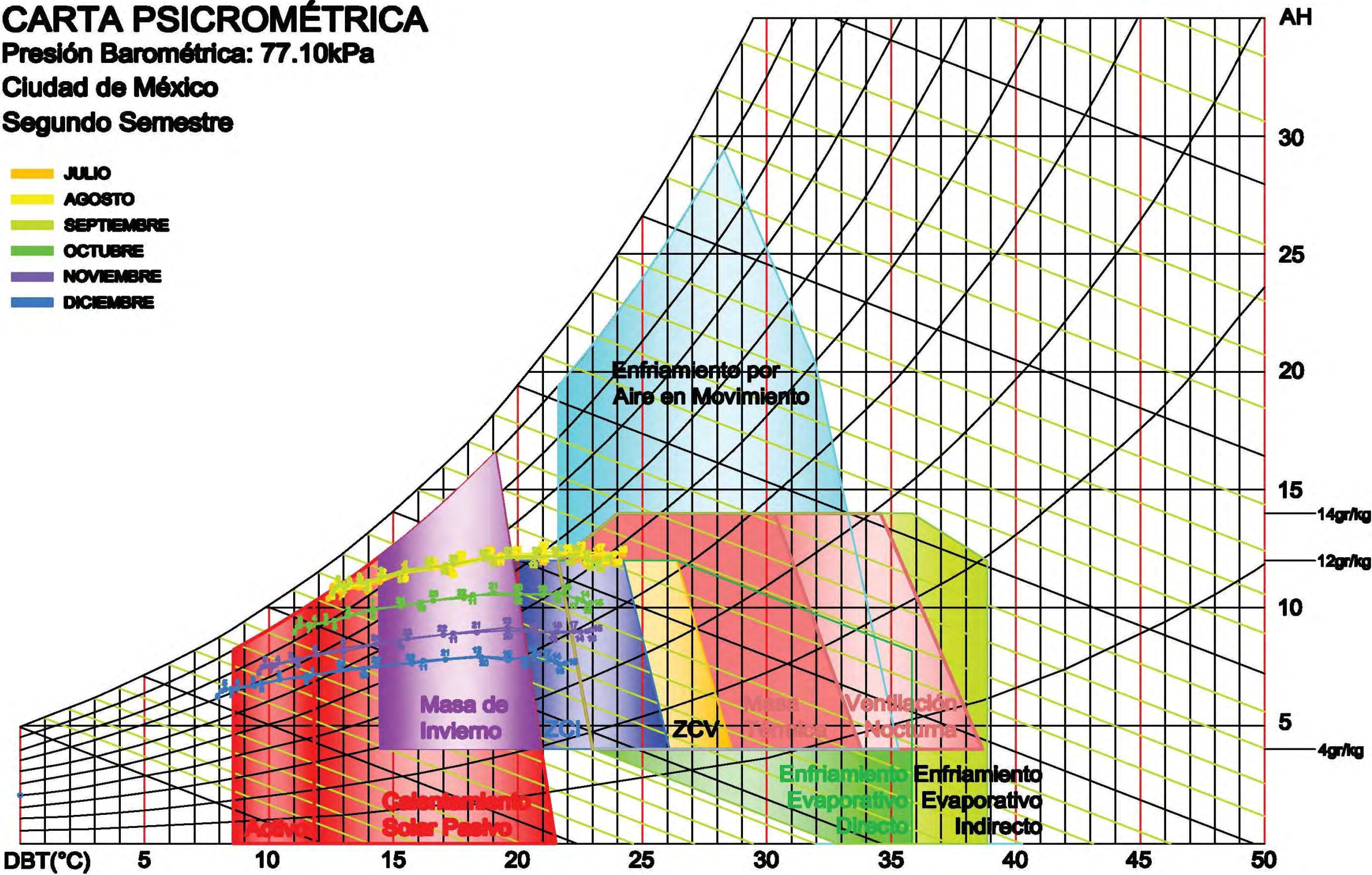
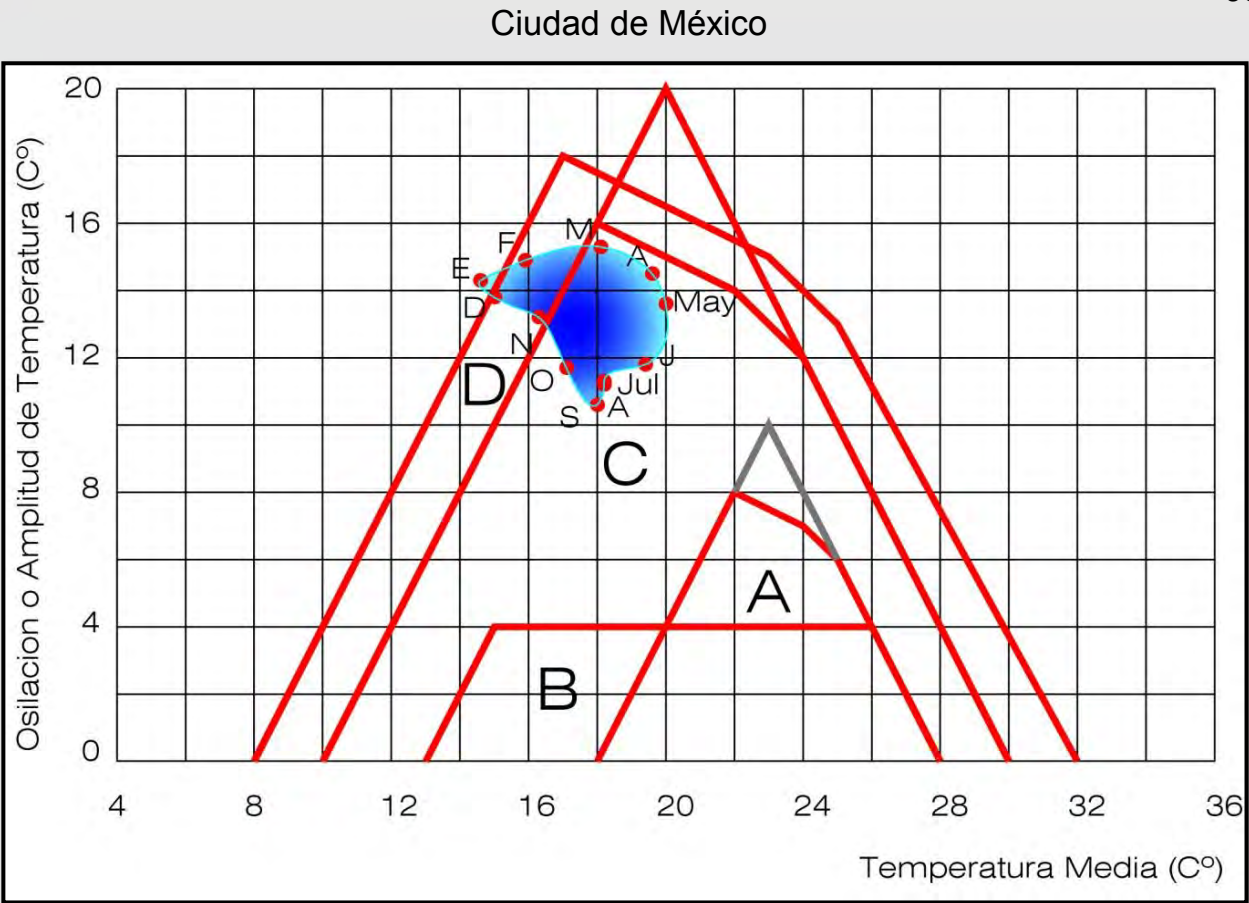


Figura 45b. Diagrama Psicrométrico (segundo semestre). Fuente: Autor. Programa: AutoCad.

TRIÁNGULOS DE EVANS
John Martin Evans

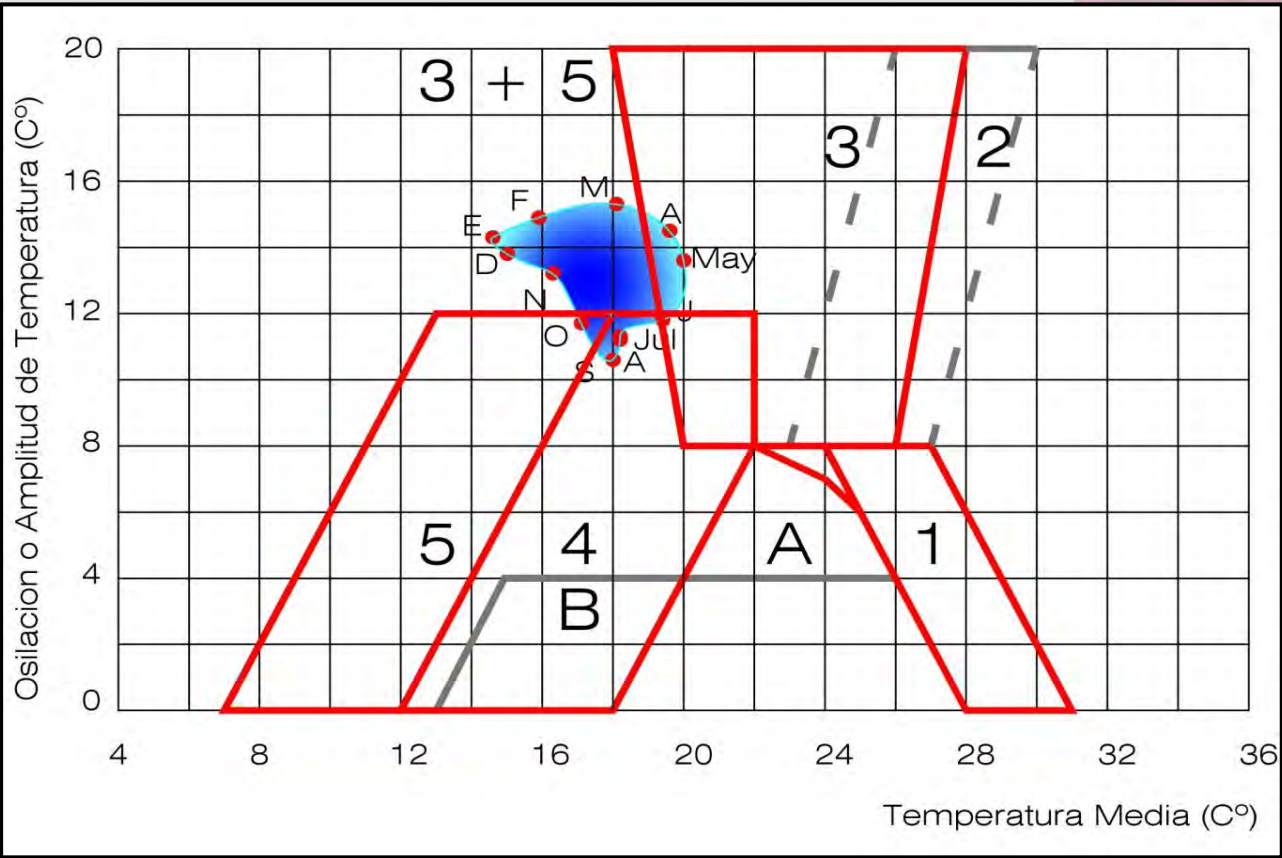
Figura 46a y b. Triángulos de Evans.
Fuente: Autor. Programa: AutoCad.



- A= Actividad Sedentaria
- B= Confort para dormir
- C= Circulación interior
- D= Circulación exterior

Triángulos de Confort

- 1= Ventilación cruzada
- 2= Ventilación selectiva
- 3= Inercia térmica
- 4= Ganancias internas
- 5= Ganancias solares



Estrategias Bioclimáticas

6.2 Área de Experimentación en Ciudad de México.

Los módulos experimentales donde se realizaron las pruebas, se localizan en el Centro de Investigaciones y Estudios Avanzadas (CINVESTAV), en la Ciudad de México (Figura 47).



Figura 47. CINVESTAV Ubicación. Fuente: <http://maps.google.com.mx/?hl=es>

Los Módulos de Pruebas fueron construidos en el área deportiva del CINVESTAV, a un lado de la pista de atletismo y de la cancha de fútbol, sobre un montículo que proporcionaba las condiciones adecuadas para la experimentación de factores medioambientales como temperatura, humedad, ganancias solares y viento; sin la

obstrucción de ningún otro elemento cercano como edificios y arboles (Figuras 48a y 48b). El área resaltada en amarillo de la figura 89a es el terreno donde se



Figura 48a y 48b. Área de Construcción de los Módulos de Prueba. Fuente: Autor.

disponen los Módulos de Prueba. Éstos están contruidos con panel COVINTEC, de dimensiones 1.22 x 2.44 0.051m, desplantado sobre una plancha de concreto armado para colocar las varillas de anclaje a cada 40 o 60cm (Figura 49).



Figura 49. Plancha de Concreto y Varillas de Anclaje para Panel COVINTEC. Fuente: Autor.

Posteriormente se instalaron los paneles; se fijan las mallas de unión y esquineras; se reforzaron los vanos de ventanas (Figura 50).

El panel COVINTEC consiste en una estructura tridimensional de alambre galvanizado calibre #14 (2,03 mm) electro soldado en cada punto de contacto, compuesto por armaduras verticales; una vez ensamblados los paneles, generan un muro sólido que presenta excelentes características mecánicas y de aislación termoacústica. El Muro COVINTEC, gracias a su alma de Poliestireno Expandido es

4 veces superior en aislación térmica al muro de ladrillo y 8 veces al hormigón. Esto se traduce también en 4 y 8 veces más ahorro en calefacción ($0,72\text{w/m}^2\text{°C}$).



Figura 50. Módulo Panel COVINTEC Ensamblado y Refuerzo. Fuente: Autor.

En la siguiente secuencia de imágenes se muestra el proceso de construcción, sus acabados, pintura de los Módulos de Pruebas y cómo estos cuentan con abastecimiento de energía eléctrica y agua.

Imágenes módulos doble carta

Los Módulos de Pruebas utilizan una placa de Poliestireno Expandido de 1 pulgada (Figura 57) con una densidad nominal de 12kg/m^3 de la marca PETROPAC, que cuenta con certificación SMS-017-002/11, como aislante térmico para sustituir las ventanas y producir un efecto térmico semejante.

Espesor (m)	Total (in)	Resistencia Térmica	
0.0254	1.00	$0.6052 \text{ m}^2\text{K/W}$	$3.4364^\circ\text{F}\cdot\text{ft}^2\cdot\text{h/BTU}$

Tabla 11. Especificaciones de placas de poliestireno. Fuente: Petropac.

Densidad aparente: $12.01 \text{ kg} / \text{m}^3$ (0.75 lb/ft^3)

Conductividad Térmica: $0.04197 \text{ W} / \text{m}\cdot\text{K}$ ($0.2910 \text{ BTU}\cdot\text{in/h}\cdot\text{ft}^2\cdot^\circ\text{F}$)

Permeabilidad al vapor de agua: $0.0025 \text{ ng} / \text{Pa}\cdot\text{s}\cdot\text{m}$

Adsorción de humedad: % masa (0.1087) % volumen (0.0013)



Figura 57. Placas de Poliestireno en Módulos. Fuente: Autor.

Por medio de un estudio de asoleamiento, la disposición de los Módulos de Prueba se revisó detenidamente para que estuvieran lo más alejado posible; con el propósito de no ocasionar obstrucción con las sombras de los arboles cercanos y de los mismos módulos que pudiera producir alguna alteración. Dichos módulos, además, fueron orientados con respecto al norte solar verdadero y cada una de sus caras son francas, ya sea hacia el norte, sur, este u oeste (Figura 58)



Figura 58. Orientación y Análisis de Asoleamiento del Conjunto de Módulos de Pruebas (31 de Diciembre 16:49hrs). Fuente: Autor. Programa: Artlantis.

Imágenes nomenclatura módulos doble carta

6.3 Metodología Experimental

El primer paso realizado para comenzar las pruebas experimentales en los módulos, fue calibrar y comprobar que todo se encontrara en las mismas condiciones.

Prueba 0: Calibración. Los 3 módulos fabricados con panel COVINTEC, en idénticas condiciones, se evaluaron, durante un período de 10 días. Los parámetros registrados concurrentemente son:

- **Interior:** Temperatura ambiente de bulbo seco y humedad relativa.
- **Exterior:** Temperatura de bulbo seco, humedad relativa, radiación solar, velocidad de viento.

Los aparatos de medición en estas pruebas fueron principalmente Data Logger Hobo de Temperatura y Humedad, dimensiones de 60 x 47 x 19 mm e interface USB y rangos:

Temperatura: -20° a $+70^{\circ}\text{C}$.

Precisión: $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$ a 25°C y un intervalo de incertidumbre real de $\pm 0.65^{\circ}\text{C}$.

Humedad relativa: 25 a 95%.

Precisión: $\pm 3.5\%$ y un intervalo de incertidumbre real de $\pm 8.3\%$.

El equipo de medición, destinado para arrojar las lecturas al exterior, se colocó dentro de la denominada “Pantalla de Stevenson” (figura 60), la cual es un refugio especial que inhibe la calefacción directa por los rayos del sol permitiendo, al mismo tiempo, que el aire circule al interior. La protección de los instrumentos dentro de la pantalla, les proporciona un refugio de los elementos exteriores. La

La pantalla de Stevenson se compone de una caja de madera blanca que se coloca a una altura de 1.2 metros por encima del suelo. Es pintada de blanco para reflejar la mayor cantidad de radiación solar y que esta no sea absorbida y no se caliente tan fácilmente. Esto es necesario para que el calor del sol no afecte a los instrumentos en su interior. Tiene cuatro lados con persianas, por lo que el aire pueda fluir a través de ella con el fin de garantizar que la temperatura del aire puede ser establecida. El motivo por el que la pantalla de Stevenson se situó a 1.2 metros por encima del suelo, es porque aquí la temperatura del aire se mide con mayor precisión y sin el calor emitido por la tierra; si la caja se coloca en el suelo se mediría la temperatura de la tierra.



Figura 60. Pantalla de Stevenson. Fuente: Autor.

Calibración día 19 de Octubre (doble carta)

El periodo completo de 10 días comprendió desde el 14 de Octubre de 2010 (a las 12 horas) y concluyó el 23 de Octubre de 2010 (a las 11:30 horas). Se tomó lectura de las condiciones de Temperatura de Bulbo Seco (Tbs) y Humedad Relativa (HR) al interior del Módulo Control (Figura 63) y los Módulos de Prueba 2 y 3 (Figura 64 y 65). Durante este lapso de calibración, los módulos comprobaron estar en las mismas condiciones, pues los resultados de las lecturas obtenidas son muy similares en los tres módulos de pruebas (Figura 66), donde se tomó un intervalo de confort de 18 a 25°C

	MC	MP2	MP3
Temperatura Max.	30.50°C	30.12°C	30.00°C
Temperatura Prom.	18.06°C	17.97°C	17.99°C
Temperatura Min.	11.50°C	10.54°C	11.00°C

Tabla 8a. Temperaturas de Bulbo Seco Durante Periodo de Calibración. Fuente: Autor.

	MC	MP2	MP3
Humedad Max.	70.00%	70.61%	85.50%
Humedad Prom.	51.34%	51.30%	60.62%
Humedad Min.	27.00%	27.46%	31.00%

Tabla 8b. Humedad Relativa Durante Periodo de Calibración. Fuente: Autor.

En el siguiente capítulo se presenta la experimentación en sistemas alternativos para el acondicionamiento ambiental natural en climas cálido áridos.



Figura 51. Aplanado de Mortero Cemento-arena.
Fuente: Autor.



Figura 52. Mangueras para Instalación Eléctrica.
Fuente: Autor.



Figura 53. Cimbra y Apuntalamiento para Colado de Losa.
Fuente: Autor.



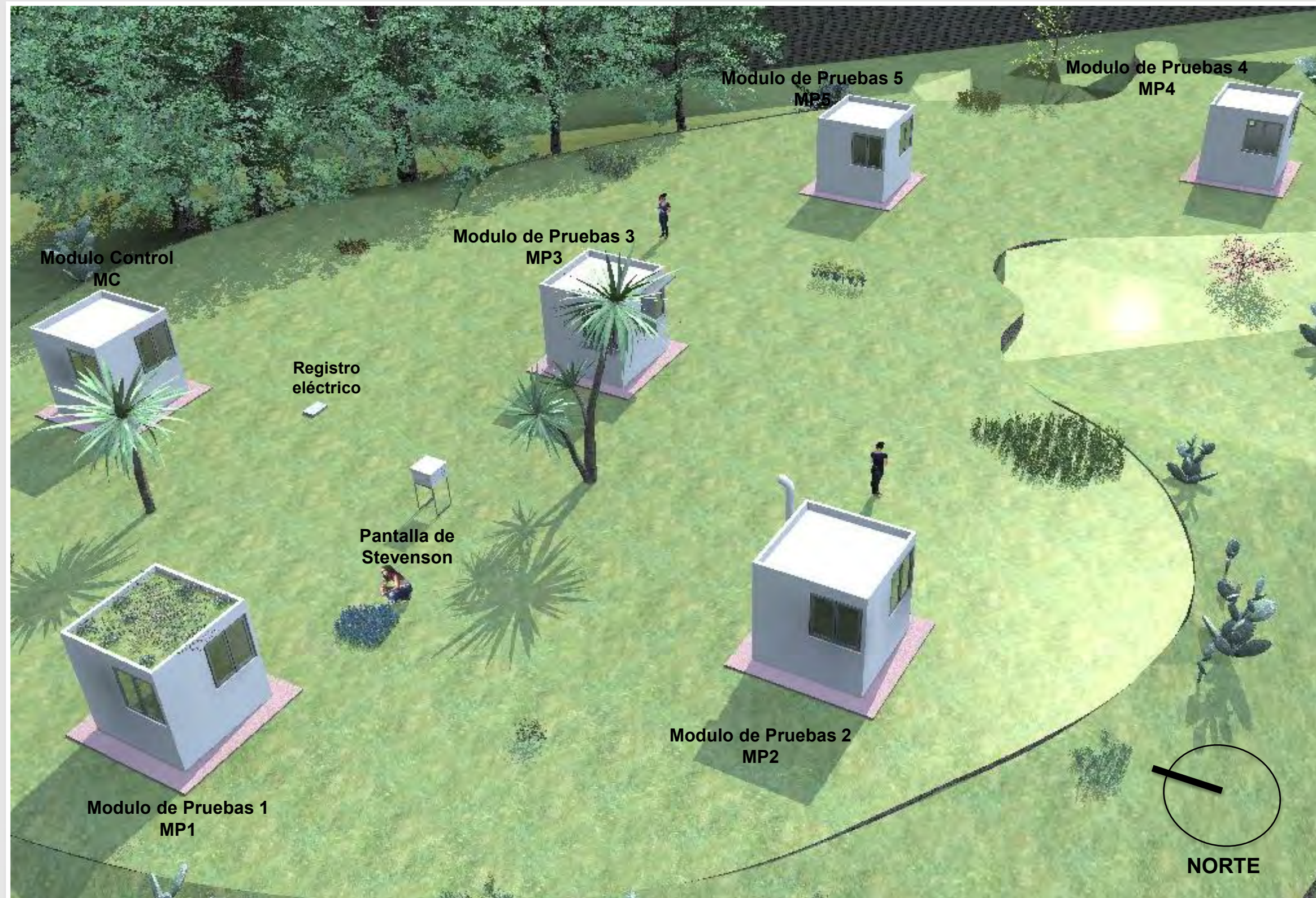
Figura 54. Acabado Fino en Muros.
Fuente: Autor.



Figura 55. Aplicación de Pintura de Cal en Módulos.
Fuente: Autor.



Figura 56. Uso de Impermeabilizante de Cal y Nopal (losa).
Fuente: Autor.



Debido a que en cada uno de los Módulos de Prueba se realizó distintas estrategias alternativas de acondicionamiento ambiental, se procedió a asignarle a cada uno de los módulos una nomenclatura de identificación para llevar un registro preciso de las distintas pruebas, mediciones y resultados, dentro del área de experimentación. (Figura 59)

Figura 59. Nomenclatura e Identificación de los Módulos de Pruebas. Fuente: Autor. Programa: Artlantis

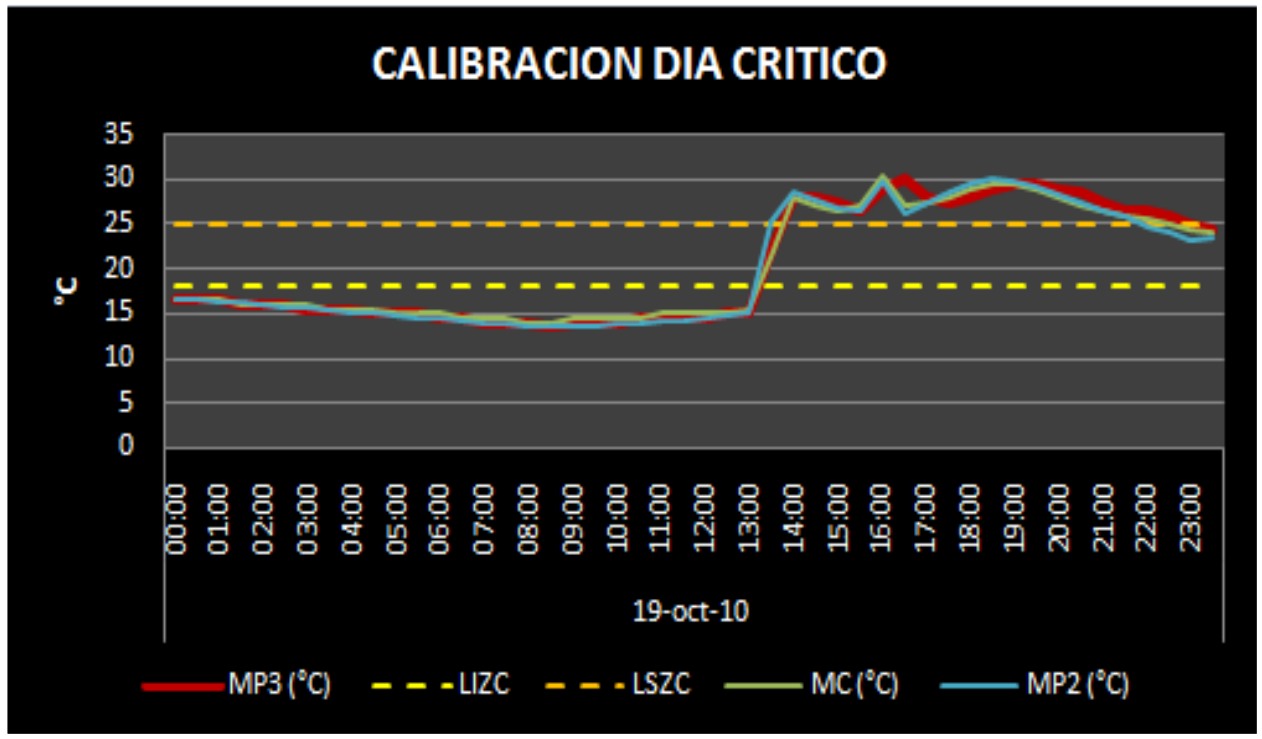


Figura 61. Gráfica de Temperatura de Bulbo Seco en Día Crítico Durante Calibración.
Fuente: Autor.

Prueba de Calibración del equipo en los Módulos de Prueba

La prueba 0, o de calibración, se realizó por un periodo de 10 días, del 14 al 23 de Octubre del 2010, periodo predominantemente cálido. Se analizó el día más caluroso de ese periodo para estudiar el flujo térmico de la temperatura (Figura 61) y aquí se aprecia que la Temperatura de Bulbo Seco el 19 de Octubre de 2010 en los tres módulos de pruebas dentro del área de experimentación (figura 62) fue muy similar.

19-10-10	MC	MP2	MP3
Temp Max	30.50	30.12	30.00
Temp Prom	20.34	20.18	20.41
Temp Min	14.00	13.57	13.50

Tabla 7. Temperaturas de bulbo seco en día crítico de Octubre.
Fuente: Autor.

Observando los resultados obtenidos de un día crítico se puede advertir que las condiciones en las que se encuentran los módulos, fueron las mismas y que el equipo de medición funciona correctamente.



Figura 62. Vista del Área de Experimentación y Módulos de Prueba dentro de las Instalaciones del CINVESTAV. Fuente: Autor.



Figura 63. Módulo Control (MC). Fuente: Autor.



Figura 64. Módulo de Pruebas 2 (MP2). Fuente: Autor.



Figura 65. Módulo de Pruebas 3 (MP3). Fuente: Autor.

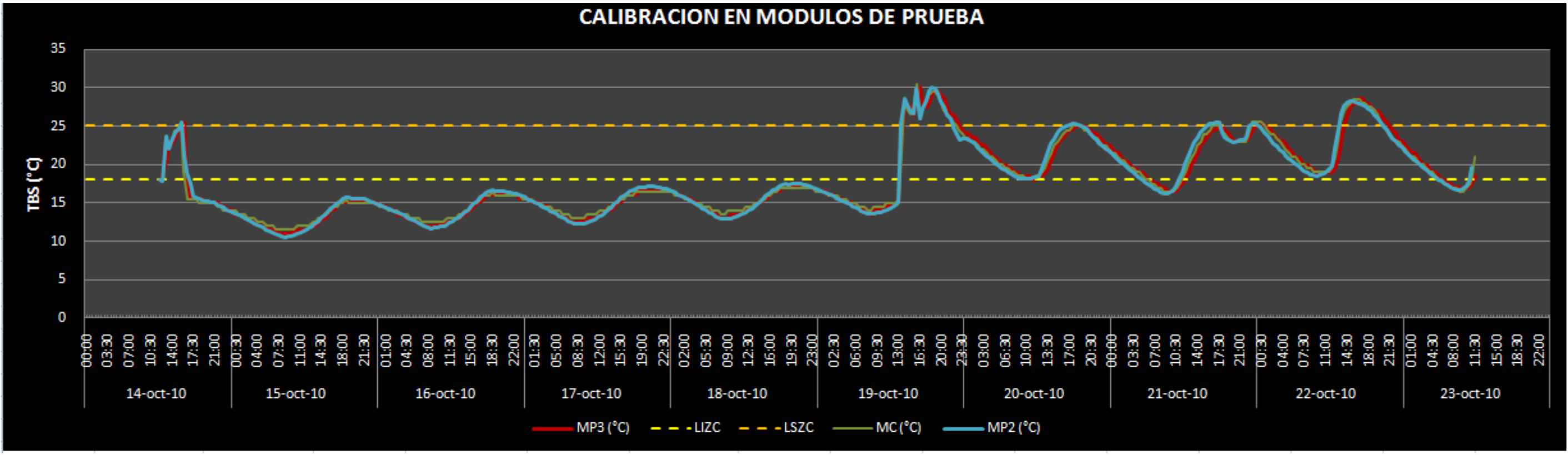


Figura 66. Gráfica de Temperatura de Bulbo Seco en MC, MP2 y MP3 durante Prueba de Calibración. Fuente: Autor.



CAPÍTULO 7

EXPERIMENTACIÓN EN SISTEMAS ALTERNATIVOS DE ACONDICIONAMIENTO AMBIENTAL PARA CLIMAS CÁLIDO SECOS

CAPÍTULO 7

**EXPERIMENTACIÓN EN SISTEMAS
ALTERNATIVOS DE ACONDICIONAMIENTO
AMBIENTAL PARA CLIMAS CÁLIDO SECOS**

CAPÍTULO 7

EXPERIMENTACIÓN EN SISTEMAS ALTERNATIVOS DE ACONDICIONAMIENTO AMBIENTAL PARA CLIMAS CÁLIDO SECOS

El propósito de esta investigación es ofrecer sistemas alternativos para el acondicionamiento ambiental en climas cálido secos, predominante en el norte de la República Mexicana, lugar en el cual se presenta un elevado consumo energético para la operación de aparatos de climatización en viviendas desfavorecidas.

Los sistemas de acondicionamiento natural que se evaluaron en este capítulo fueron retomados de la arquitectura tradicional de medio Oriente, donde las temperaturas extremosas propias del desierto obligan a las personas a buscar un confort higrotérmico por diversos medios, desde ya hace miles de años; éstos han funcionado de manera eficiente por lo que se ofrecen como una alternativa económica y que al disminuir el uso de sistemas de climatización convencional representaría un ahorro en el consumo eléctrico.

A continuación se presenta un breve resumen en que se describen las pruebas experimentales de estos sistemas tradicionales aplicadas a los módulos, en los cuales se demostró la eficiencia de estas sencillas y económicas propuestas de diseño ecológico y sustentable.

Resumen de propuestas

7.1 Uso de Sistemas de Enfriamiento Conductivo Subterráneo y Ventilación Natural en la Arquitectura Tradicional

El clima cálido seco extremo, que presenta gran parte del norte de la República Mexicana limita la posibilidad de enfriar los espacios por medio de la ventilación natural directa durante el día, debido a las elevadas temperaturas a las que se encuentra el aire al exterior. Por tal motivo los sistemas de enfriamiento conductivo subterráneo (Figura 72) son una buena opción para la climatización pasiva de los espacios arquitectónicos.

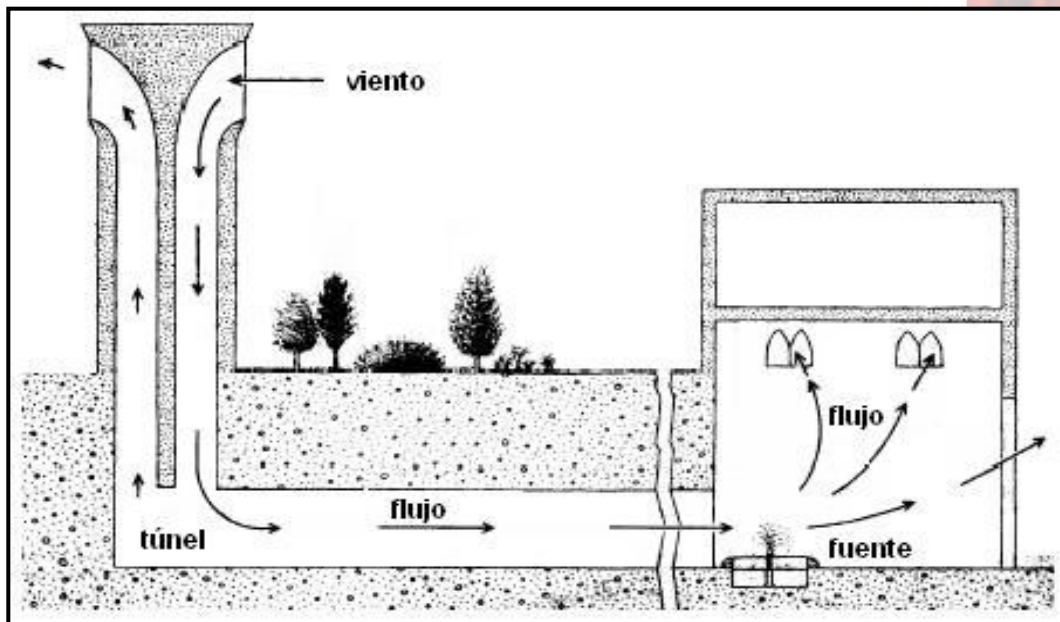


Figura 72. Sistemas de Enfriamiento Conductivo Subterráneo.

Fuente: <http://moleskinearquitectonico.blogspot.com>

El enfriamiento conductivo es un fenómeno que se presenta cuando el aire cálido se mueve sobre una superficie fría (en este caso, la superficie fría la aporta el sistema subterráneo) (Figura 73) que se encuentra en contacto directo bajo el

terreno y durante este recorrido se enfría e ingresa al interior con una temperatura menor.



Figura 73. Sistema Subterráneo de Ductos en Contacto con el Terreno.

Fuente: Autor

7.1.2 Planteamiento de la Hipótesis

La experimentación consistió en la utilización de un sistema de enfriamiento conductivo subterráneo durante la época de sobrecalentamiento, cuando se requiere de un aire frío para bajar las elevadas temperaturas de verano que con ventilación natural directa sería imposible.

Sin importar el tipo de clima, la temperatura de la tierra se estabiliza a poca profundidad la temperatura del subsuelo se mantiene alrededor de los 17°C; gracias a su densidad, la tierra absorbe y conserva de manera permanente la

energía (G. Florides and S. Kalogirou, 2004) e incluso en invierno todo este calor puede ser aprovechado para calentar los espacios.

La primera etapa de pruebas del sistema de tubos enterrados se realizó durante el invierno en un lapso de tiempo que abarcó del 4 al 13 de diciembre del 2010, en la que se demostró como el sistema ayuda a aumentar la temperatura interior. Cabe resaltar que este periodo de mediciones arrojó las lecturas más bajas de la temporada con temperaturas que llegaron a los -2.98°C .

Las lecturas obtenidas del primer sensor ubicado para registrar la temperatura de bulbo seco (Tbs) y la humedad relativa (HR) al exterior se tomaron de referencia para comparar las condiciones climáticas del lugar con las condiciones al interior de los Módulos de Experimentación; por ejemplo en el Módulo Control, donde no se usa ningún tipo de sistema de acondicionamiento, y finalmente, en el Módulo de Experimentación 2, donde se probaron los tubos enterrados en invierno durante el bajocalentamiento para lograr temperaturas confortables al interior sin necesidad de ningún sistema artificial (que en un hogar común, elevaría el consumo eléctrico para su operación).

Doble carta ductos invierno 1

Doble carta ductos invierno 2

7.1.4 Análisis e Interpretación de Resultados en Invierno

Como se mencionó anteriormente, el periodo de mediciones duro 10 días (4 a 13 de Diciembre) en el cual los aparatos de medición arrojaron lecturas de temperaturas de bulbo seco al exterior, Modulo Control y Modulo de Pruebas 2 con condiciones favorables a lo esperado por el uso de ductos subterráneos, las cuales se muestran a continuación (Tabla 9).

	Temp. Ext.	MC	MP2
Temperatura Max.	24.58°C	14.50°C	15.82°C
Temperatura Prom.	10.88°C	11.48°C	12.58°C
Temperatura Min.	-2.98°C	7.50°C	8.34°C

Tabla 9. Temperaturas de Bulbo Seco durante Bajocalentamiento en Invierno. Fuente: Autor.

Es de resaltar que en el Módulo de Pruebas 2 (MP2), que contó con el sistema de calentamiento conductivo subterráneo, su temperatura interior se incrementó en más de 1°C en comparación con el Modulo Control que no contó con ninguna estrategia de acondicionamiento, demostrando así la efectividad de este sencillo y económico sistema. El rango de confort representado en las gráficas se obtuvo mediante la fórmula de Temperatura Neutra (Víctor Fuentes Freixanet, 2004).

$$T_n = 17.6 + 0.31 (\text{Temp. Prom. Ext.})$$

En este caso, la Temperatura Promedio del ambiente fue obtenida durante el periodo de 10 días que duró la prueba (4 al 13 de Diciembre 2010) y la Temperatura Neutra (T_n) más el Modelo Estático de Confort ($\pm 2.5K$).

Graficas aire tierra doble carta

Tubos enterrados primavera 1

Tubos enterrados primavera 2

7.1.6 Análisis e Interpretación de Resultados en Primavera

En esta etapa de experimentación con ductos subterráneos en primavera, el periodo de mediciones duro 10 días, del 14 a 23 de Marzo, al comienzo del periodo de sobrecalentamiento en el cual los aparatos de medición arrojaron lecturas de temperaturas de bulbo seco al exterior, Módulo Control y Módulo de Pruebas 2; las condiciones fueron nuevamente favorables con el uso de ductos subterráneos, cuyos resultados se muestran a continuación (Tabla 11).

	Temp. Ext.	MC	MP2
Temperatura Max.	29.17°C	51°C	33.78°C
Temperatura Prom.	16.90°C	20.24°C	18.12°C
Temperatura Min.	3.35°C	9.50°C	9.36°C

Tabla 11. Temperaturas de Bulbo Seco en Primavera. Fuente: Autor.

En primavera es notable como el Modulo de Pruebas 2 (MP2), con el sistema de enfriamiento conductivo subterráneo, mantuvo una temperatura promedio interior mayor por más de 2°C en comparación con el Modulo Control que no conto con ninguna sistema. El rango de confort representado en las gráficas se obtuvo mediante la fórmula de Temperatura Neutra (Víctor Fuentes Freixanet, 2004).

$$T_n = 17.6 + 0.31 (\text{Temp. Prom. Ext.})$$

La Temperatura Promedio del ambiente fue de 16.90°C durante el periodo en que transcurrió la prueba (14 a 23 de Marzo 2011) y T_n mas el Modelo Estático de Confort (+/-2.5K) arrojó un rango de 20.34 a 25.34°C.

Temperatura de la tierra en primavera

7.1.7 Conclusiones del Uso de Sistemas de Calentamiento y Enfriamiento

Conductivo Subterráneo

La implementación de este sistema de ductos enterrados provee a los hogares una cualidad ecológica que se ha venido empleando desde tiempos remotos en lugares situados en climas cálido áridos como en la antigua Persia, donde se aprovechó el viento como calefacción o refrigeración; estos sencillos sistemas de ventilación pasiva han existido desde hace 2,000 años.

Estos sistemas alternativos de acondicionamiento ambiental pueden llegar a ser tan efectivos como sus equivalentes modernos de alta tecnología, con la ventaja de no necesitar consumo alguno de energía; el mismo sistema proporciona una temperatura confortable en el más áspero de los ambientes desérticos, con noches frías y días calurosos.

El enfriamiento conductivo subterráneo y la ventilación natural son herramientas económicas que nos proporcionan un ambiente confortable al interior de las viviendas localizadas al norte de la República Mexicana, donde predominan los climas cálido secos, que presentan un alto consumo de energía eléctrica producto de la climatización artificial (siendo el sector vivienda el que presenta mayor número y vulnerabilidad).

7.1.8 Análisis Comparativo de Modelos Experimentales por Simulación Computacional y Hojas de Cálculo.

El empleo del sistema de calentamiento y enfriamiento conductivo es una estrategia de diseño empleada para viviendas con un clima predominantemente cálido seco. Por tal motivo se realizó un análisis comparativo entre los resultados de las pruebas con modelos reales en comparación con un modelo matemático computacional en una hoja de cálculo que replicaron las mismas condiciones en las que se desarrollaron los experimentos con el sistema de ductos para así comprobar la fiabilidad del programa para su posterior uso en una simulación de las viviendas de interés social analizadas en Torreón.

El método simplificado para el cálculo de un sistema de enfriamiento pasivo con ductos enterrados constó, básicamente, del cálculo del flujo del aire dentro del ducto obteniendo parámetros de medición que permiten determinar la temperatura del aire a la salida del ducto; se ingresaron diferentes variables para su desarrollo como lo son: la longitud del ducto, el radio del mismo, la profundidad a la que se encuentra, la velocidad del aire dentro del ducto, la temperatura del aire a la entrada del ducto y la temperatura del subsuelo a la profundidad en la que se colocó el ducto en donde se realiza el intercambio térmico conductivo entre la tierra y el aire al interior del ducto.

Las variables necesarias para el cálculo fueron obtenidas durante la experimentación en modelos reales por lo cual las condiciones y parámetros serán los mismos, tanto en invierno (Tabla 13) como en primavera (Tabla 14).

ENFRIAMIENTO CONDUCTIVO CON LA TIERRA (INVIERNO)		
Método simplificado para el cálculo de un sistema de enfriamiento pasivo con ductos enterrados		
Datos de entrada y procedimiento de calculo		Valores
1	Longitud del ducto "L" (mt)	24.0
2	Radio del ducto "r" (mt)	0.050
3	Profundidad del ducto "Z" (mt)	1.6
4	Velocidad del aire dentro del ducto "u" (mt/s)	1.2
5	Temperatura del aire a la entrada "Tin" (°C)	9.9
6	Temperatura del suelo a la profundidad del "ducto intercambiador" "Tg" (°C)	18.6
7	Cálculo del flujo de aire en el ducto SV o $Q=\pi r^2 u$ (m ³ /s)	0.0094248
8	Cálculo del parámetro $P1 = -0.0161896 \cdot L$	-0.3885504
9	Cálculo del parámetro $P2 = 0.00019058 \cdot L \cdot L$	0.10977408
10	Cálculo del parámetro $P3 = -0.000000957 \cdot L \cdot L \cdot L$	-0.01322957
11	Cálculo del parámetro adimensional $U=0.995242+P1+P2+P3$	0.70323611
12	Determinar el parámetro $a0$ en tabla 11.A1 como función de SV o Q y L	1.489015
13	Determinar el parámetro $a1$ en tabla 11.A1 como función de SV o Q y L	-0.334799
14	Determinar el parámetro $a2$ en tabla 11.A1 como función de SV o Q y L	0.048229
15	Determinar el parámetro $a3$ en tabla 11.A1 como función de SV o Q y L	-0.0022
16	Cálculo del parámetro $QD1=a1 \cdot Z$	-0.535678
17	Cálculo del parámetro $QD2=a2 \cdot Z \cdot Z$	0.123466
18	Cálculo del parámetro $QD3=a3 \cdot Z \cdot Z \cdot Z$	-0.009011
19	Cálculo del parámetro de corrección para la profundidad $CV1=a0+QD1+QD2+QD3$	1.067792
20	Determinar el parámetro $b0$ en la tabla 11.A2 como función de Z (D) y L	0.9422280
21	Determinar el parámetro $b1$ en la tabla 11.A2 como función de (D) Z y L	0.1764782
22	Determinar el parámetro $b2$ en la tabla 11.A2 como función de Z (D) y L	-0.0821707
23	Determinar el parámetro $b3$ en la tabla 11.A2 como función de Z (D) y L	0.0238930
24	Cálculo del parámetro $QV1=b1 \cdot Q$	0.0016633
25	Cálculo del parámetro $QV2=b2 \cdot Q \cdot Q$	-0.0000073
26	Cálculo del parámetro $QV3=b3 \cdot Q \cdot Q \cdot Q$	0.0000000
27	Cálculo del parámetro de corrección para la tasa del flujo $CV2=b0+QV1+QV2+QV3$	0.9438840
28	Cálculo del valor corregido de $Ucor=U \cdot CV1 \cdot CV2$	0.7087716
29	Cálculo de la temperatura del aire a la salida del ducto. $Tout = Tg + Ucor \cdot (Tin - Tg)$ (°C)	12.43

Tabla 13. Enfriamiento Conductivo por Ductos en Invierno, Calculo de la Temperatura Interior.

Fuente: Autor. Tablas: José Roberto García.

ENFRIAMIENTO CONDUCTIVO CON LA TIERRA (PRIMAVERA) Método simplificado para el cálculo de un sistema de enfriamiento pasivo con ductos enterrados		
Datos de entrada y procedimiento de calculo		Valores
1	Longitud del ducto "L" (mt)	24.0
2	Radio del ducto "r" (mt)	0.050
3	Profundidad del ducto "Z" (mt)	1.6
4	Velocidad del aire dentro del ducto "u" (mt/s)	1.2
5	Temperatura del aire a la entrada "Tin" (°C)	17.5
6	Temperatura del suelo a la profundidad del "ducto intercambiador" "Tg" (°C)	18.7
7	Cálculo del flujo de aire en el ducto SV o $Q = \pi r^2 u$ (m³/s)	0.0094248
8	Cálculo del parámetro $P1 = -0.0161896 * L$	-0.3885504
9	Cálculo del parámetro $P2 = 0.00019058 * L * L$	0.10977408
10	Cálculo del parámetro $P3 = -0.000000957 * L * L * L$	-0.01322957
11	Cálculo del parámetro adimensional $U = 0.995242 + P1 + P2 + P3$	0.70323611
12	Determinar el parámetro $a0$ en tabla 11.A1 como función de SV o Q y L	1.489015
13	Determinar el parámetro $a1$ en tabla 11.A1 como función de SV o Q y L	-0.334799
14	Determinar el parámetro $a2$ en tabla 11.A1 como función de SV o Q y L	0.048229
15	Determinar el parámetro $a3$ en tabla 11.A1 como función de SV o Q y L	-0.0022
16	Cálculo del parámetro $QD1 = a1 * Z$	-0.535678
17	Cálculo del parámetro $QD2 = a2 * Z * Z$	0.123466
18	Cálculo del parámetro $QD3 = a3 * Z * Z * Z$	-0.009011
19	Cálculo del parámetro de corrección para la profundidad $CV1 = a0 + QD1 + QD2 + QD3$	1.067792
20	Determinar el parámetro $b0$ en la tabla 11.A2 como función de Z (D) y L	0.9422280
21	Determinar el parámetro $b1$ en la tabla 11.A2 como función de (D) Z y L	0.1764782
22	Determinar el parámetro $b2$ en la tabla 11.A2 como función de Z (D) y L	-0.0821707
23	Determinar el parámetro $b3$ en la tabla 11.A2 como función de Z (D) y L	0.0238930
24	Cálculo del parámetro $QV1 = b1 * Q$	0.0016633
25	Cálculo del parámetro $QV2 = b2 * Q * Q$	-0.0000073
26	Cálculo del parámetro $QV3 = b3 * Q * Q * Q$	0.0000000
27	Cálculo del parámetro de corrección para la tasa del flujo $CV2 = b0 + QV1 + QV2 + QV3$	0.9438840
28	Cálculo del valor corregido de $Ucor = U * CV1 * CV2$	0.7087716
29	Cálculo de la temperatura del aire a la salida del ducto. $Tout = Tg + Ucor * (Tin - Tg)$ (°C)	17.85

Tabla 14. Enfriamiento Conductivo por Ductos en Primavera, Calculo de la Temperatura Interior.

Fuente: Autor. Tablas: José Roberto García.

7.1.9 Resultados del Análisis Comparativo Durante la Prueba de Enfriamiento Conductivo Subterráneo en Invierno y Primavera (Periodo de Bajocalentamiento y Sobrecalentamiento, Respectivamente).

Los resultados obtenidos durante el invierno en el periodo que abarcó del 4 al 13 de Diciembre de 2010, arrojaron principalmente que la temperatura de la tierra a 1.60 metros fue de 18.6°C , la temperatura del aire a la entrada del ducto fue de 9.9°C , la velocidad del aire a través del ducto de 24m de largo y 4" de diámetro fue de 1.2 m/s; dando todos estos factores como resultado una temperatura promedio del aire a la salida del ducto de 14.9°C . Mientras que todos estos datos ingresados a una hoja de cálculo dieron como resultado una temperatura promedio simulada del aire a la salida del ducto de 12.43°C , con una diferencia de 2.47°C entre los resultados de la prueba en modelos reales y la simulación en hoja de cálculo.

Los resultados obtenidos durante la primavera en el periodo que comprendió del 14 al 23 de Marzo de 2011 arrojaron que la temperatura de la tierra a 1.60 metros fue de 18.7°C , la temperatura del aire a la entrada del ducto fue de 17.5°C , la velocidad del aire a través del ducto de 24m de largo y 4" de diámetro fue de 1.2 m/s; dando todos estos factores como resultado una temperatura promedio del aire a la salida del ducto de 18°C . Mientras que todos estos datos ingresados a una hoja de cálculo dieron como resultado una temperatura promedio simulada del aire a la salida del ducto de 17.85°C , con una diferencia mínima de 0.15°C entre los resultados de ambas pruebas.



Figura A3. Volado en Orientación Sur en Módulo de Pruebas 3 (MP3). Fuente: Autor.

Dispositivo de Control Solar en Orientación Sur (Volado)

En la cara Sur del MP3 se colocó un dispositivo de control solar compuesto básicamente de un volado o elemento horizontal y un elemento vertical adicional en la parte lateral izquierda (Figura A3), con el propósito de bloquear ganancias solares, principalmente al medio día cuando comienza el sobrecalentamiento. La prueba se evaluó del 11 al 17 de Marzo, este periodo presentó temperaturas de gran oscilacion entre las mañanas y las tardes, tanto en el exterior como en el interior (Figura A4). Ambos módulos permanecieron en condiciones similares, siendo el módulo de Pruebas 3 con su dispositivo el que presentó temperaturas más bajas en todo momento, comprobando así que el control solar juega un papel importante en el confort pues disminuye las ganancias por radiación en superficies transparentes.

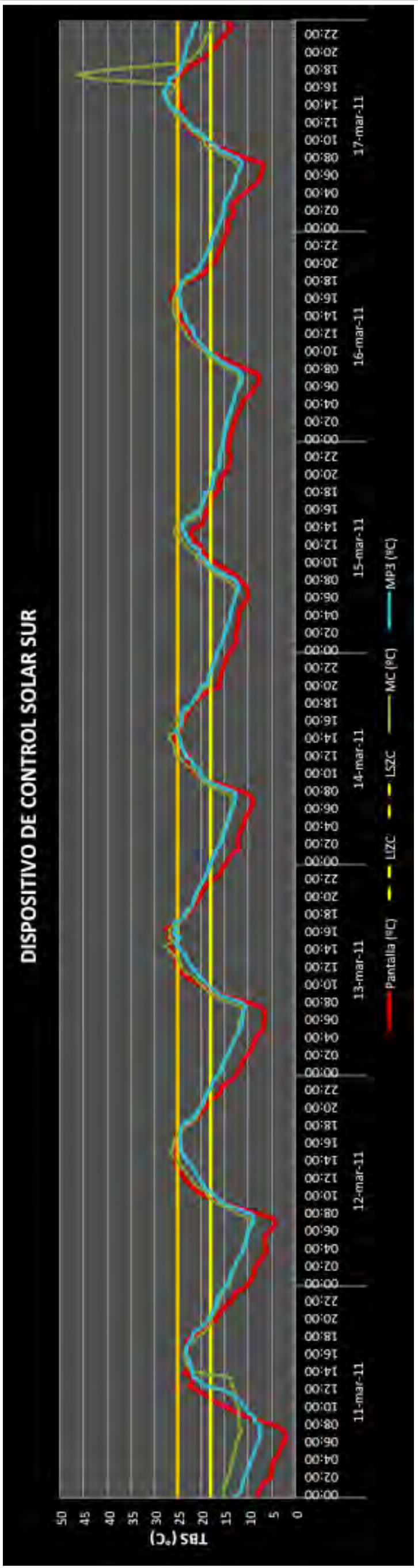


Figura A4. Gráfica de Temperatura de Bulbo Seco al Exterior (Pantalla de Stevenson), MC y MP3 por Periodo de 10 Días Durante el Uso de Dispositivo de Control Solar al Sur. Fuente: Autor.



Figura A5. Insolación en Cara Sur en Módulo de Pruebas 3 (MP3).
Fuente: Autor. Programa: Artlantis.

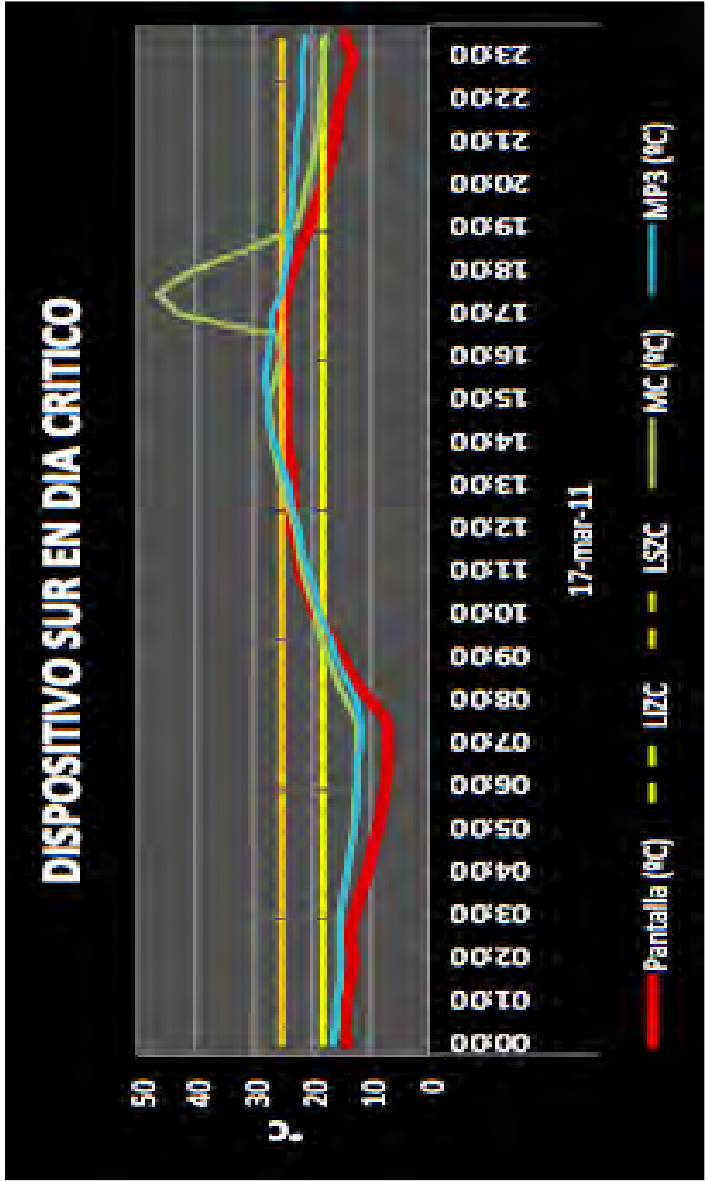


Figura A6. Gráfica de Temperatura de Bulbo Seco en Día crítico (volado). Fuente: Autor.

La evaluación de la prueba con el dispositivo de control solar en la cara sur del MP3 (Figura A5) presentó un día particularmente crítico con temperaturas muy elevadas en el módulo Control. El día 17 de Marzo se presentaron temperaturas altas similares en ambos módulos de prueba, hasta que el MC comenzó a presentar un notable incremento en su temperatura interior por la tarde, llegando a un pico final a las 17:30hrs de 46.50°C (Figura A6); mientras que el módulo de Pruebas 3 presentó temperaturas máximas de tan sólo 28°C. Este día crítico permitió ver más claramente el trabajo de control térmico que realizan los dispositivos solares y de como los rayos solares ingresen al interior de los espacios elevando la temperatura de éstos (Figura A7)



Figura A7. Dispositivo de Control Solar Sur y Penetración Solar al Interior sin Dispositivo. Fuente: Autor.

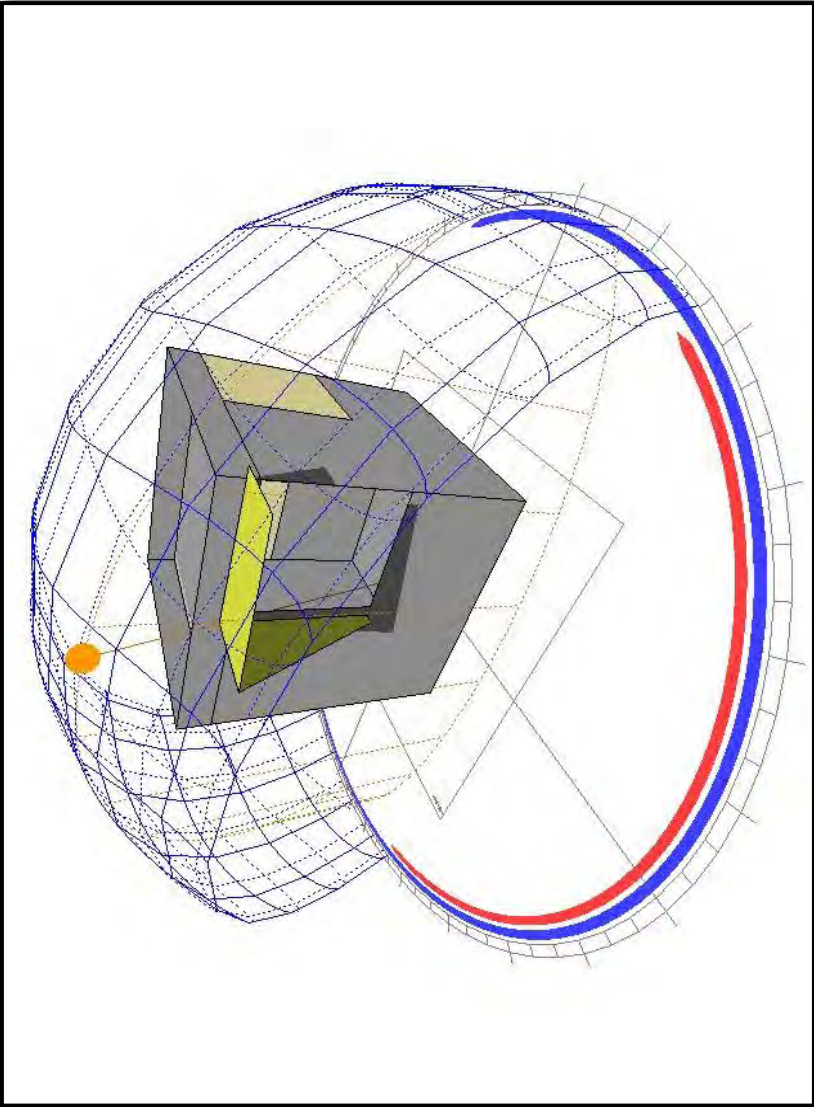


Figura A8. Simulación de Dispositivo Sur 12:15hrs. Fuente: Autor.
Programa: Ecotec.

Simulación de Dispositivo de Control Solar en Orientación Sur

El dispositivo está diseñado para permitir ganancia solares por la mañana y comenzar a bloquear los rayos solares de medio día con el volado pues los rayos que se van inclinando al avanzar el sol con el elemento vertical lateral. En la simulación se comprueba que permanece sombreado el interior a partir de medio día. En lo que respecta al análisis térmico, las temperaturas medías fueron similares tanto en la simulación como en la realidad (Figura I y Tabla A)

	Tbs ext. real	Tbs ext. simulada	Tbs int. real	Tbs int. simulada
Temp. Max.	26.43°C	26.0°C	27.50°C	22.50ºC
Temp. Prom	16.09°C	16.72°C	17.82°C	19.08ºC
Temp. Min.	2.02°C	6.60°C	7.50°C	16.30ºC

Tabla A1. Temperaturas Reales y Simulaciones al Exterior e Interior. Fuente: Autor.

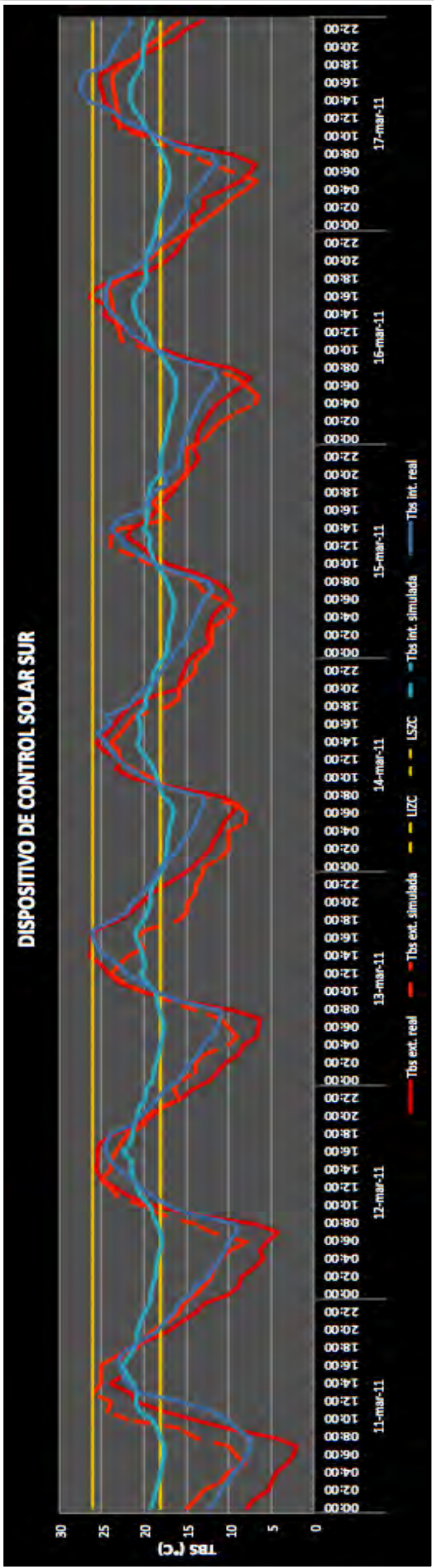


Figura A9. Gráfica de Temperatura de Bulbo Seco Real y Simulada Interior y Exterior Durante el Uso de Dispositivo de Control Solar al Sur. Fuente: Autor.

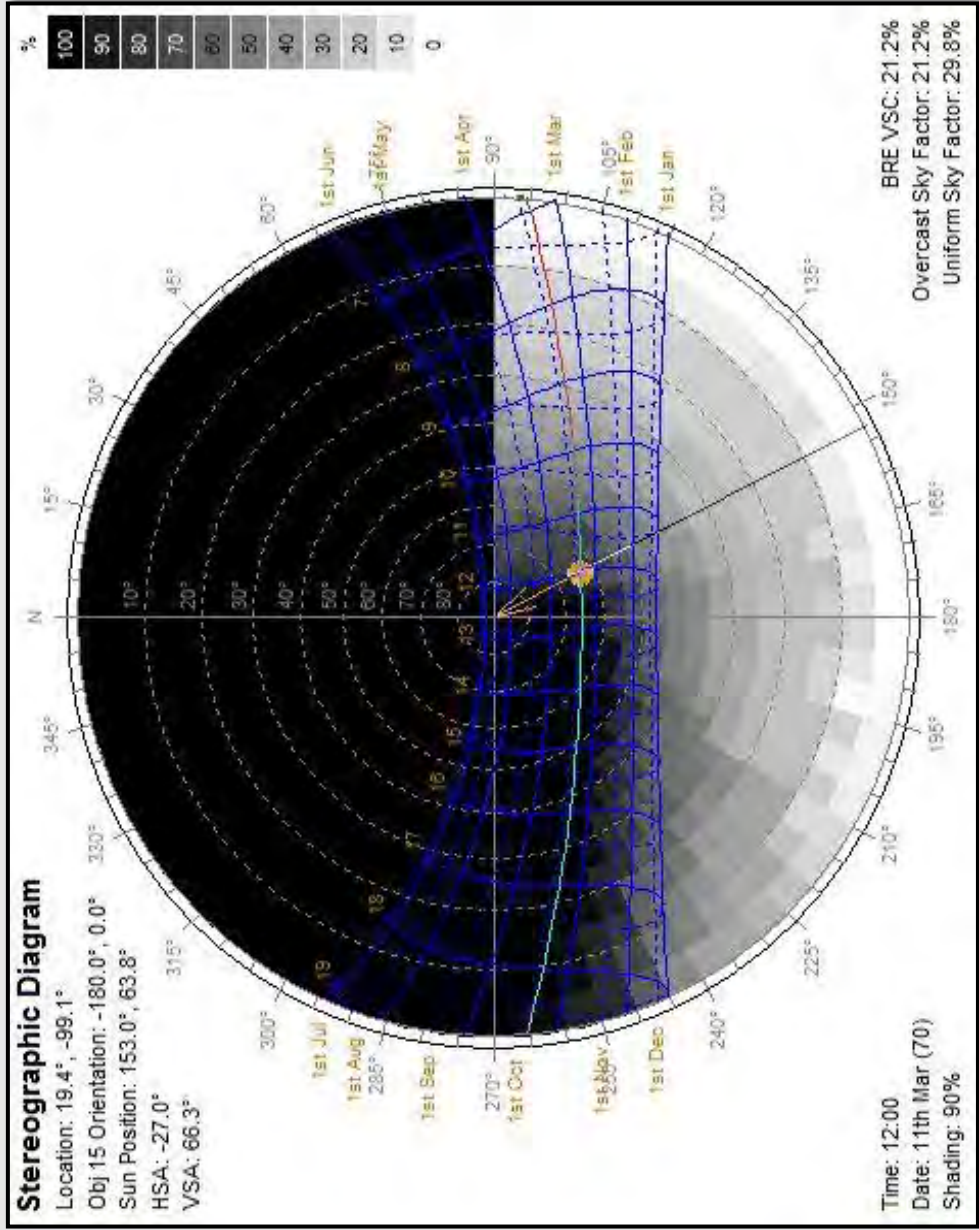


Figura A10. Gráfica Estereográfica para Sombreado de Dipositivo Sur. Fuente: Autor.

Sombreado por Dispositivo de Control Solar en Orientación Sur

Con el dispositivo de control por medio de un estudio de sombras, se puede definir que después de las 13hrs la ventana Sur presenta un sombreado del 100% hasta las 18hrs (Tabla A2). Dicho lapso cubre el periodo de sobrecalentamiento que ocurre por las tardes y observando la escala de grises del sombreado en la gráfica estereográfica (Figura A10) se aprecia visualmente que la ventana sur permanece sombreada gran parte de la tarde en donde se limita la penetración solar durante las horas de sobrecalentamiento.

Latitude: 19.4°		Date: 11th March		Local Correction: -46.4 mins	
Longitude: -99.1°		Julian Date: 70		Equation of Time: -10.0 mins	
TimeZone: -6.0hrs		Sunrise: 06:52		Declination: -4.2°	
OBJECT No.: 15		Sunset: 18:40		Orientation: -180.0°	
Local	(Solar)	Azimuth	Altitude	HSA	VSA
07:00	(06:13)	95.1°	1.8°	-84.9°	19.3°
07:30	(06:43)	97.7°	8.8°	-82.3°	49.3°
08:00	(07:13)	100.4°	15.8°	-79.6°	57.4°
08:30	(07:43)	103.4°	22.7°	-76.6°	61.0°
09:00	(08:13)	106.8°	29.6°	-73.2°	63.0°
09:30	(08:43)	110.8°	36.3°	-69.2°	64.2°
10:00	(09:13)	115.6°	42.8°	-64.4°	65.0°
10:30	(09:43)	121.6°	49.0°	-58.4°	65.5°
11:00	(10:13)	129.3°	54.7°	-50.7°	65.9°
11:30	(10:43)	139.5°	59.8°	-40.5°	66.1°
12:00	(11:13)	153.0°	63.8°	-27.0°	66.3°
12:30	(11:43)	169.9°	66.0°	-10.1°	66.4°
13:00	(12:13)	-171.6°	66.1°	8.4°	66.4°
13:30	(12:43)	-154.5°	64.1°	25.5°	66.3°
14:00	(13:13)	-140.7°	60.2°	39.3°	66.1°
14:30	(13:43)	-130.2°	55.3°	49.8°	65.9°
15:00	(14:13)	-122.2°	49.5°	57.8°	65.5°
15:30	(14:43)	-116.1°	43.4°	63.9°	65.0°
16:00	(15:13)	-111.2°	36.9°	68.8°	64.3°
16:30	(15:43)	-107.2°	30.2°	72.8°	63.1°
17:00	(16:13)	-103.7°	23.4°	76.3°	61.2°
17:30	(16:43)	-100.7°	16.5°	79.3°	57.9°
18:00	(17:13)	-97.9°	9.5°	82.1°	50.4°
18:30	(17:43)	-95.4°	2.5°	84.6°	24.7°

Tabla A2. Tabla Diaria de Datos Solares para Ventana Sur. Fuente: Autor. Programa: Ecotec.



Figura A11. Partesoles en Orientación Oeste en módulo de Pruebas 2 (MP2). Fuente: Autor .

Dispositivo de Control Solar en Orientación Oeste (Parteluces)

El dispositivo de control solar colocado en la cara Oeste del módulo de Pruebas (Figura A10) esta diseñado para bloquear las ganancias solares por radiación en superficies transparentes cuando, por las tardes, los rayos solares se encuentran muy inclinados. Los partesoles colocados en la cara Oeste ofrecieron un control solar adecuado durante el periodo de pruebas del 18 al 24 de Marzo, siendo muy notable la diferencia de temperaturas entre el MP2 con el uso del dispositivo y el MC, que no contó con control solar, el cual presentó un notable incremento en su temperatura interior, por las tardes, durante todo el periodo de evaluaciones; las altas temperaturas de este periodo de sobrecalentamiento se presentaron durante los 7 días de evaluaciones, siempre llegando a un máximo a las 16:30hrs únicamente en el MC (Figura A11).

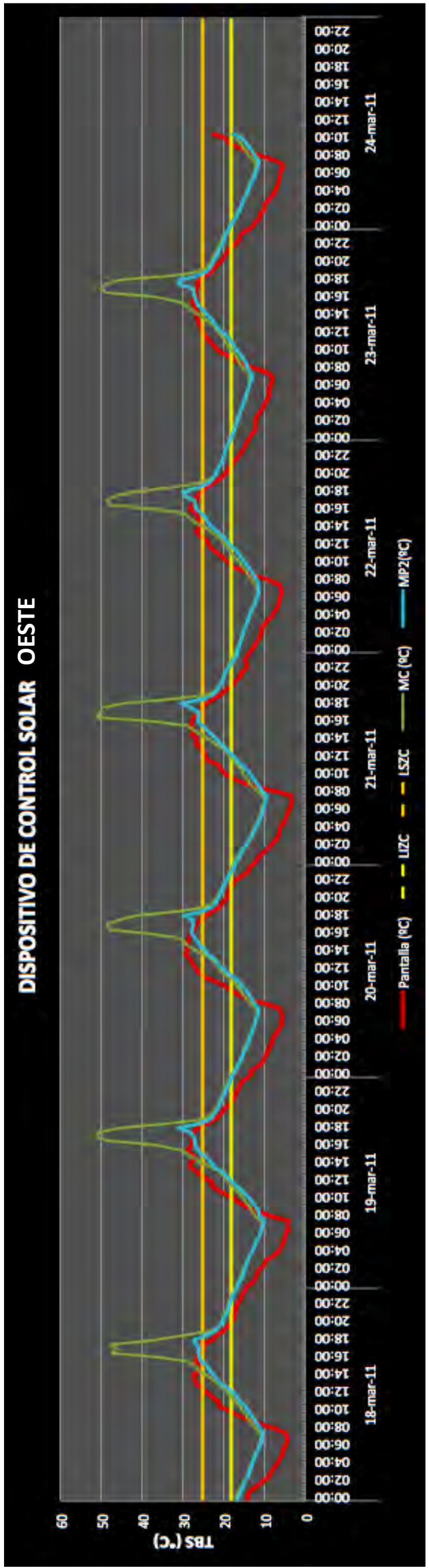


Figura A12. Gráfica de Temperatura de Bulbo Seco al exterior (Pantalla de Stevenson), MC y MP2 por Periodo de 10 Días durante el Uso de Dispositivo de Control Solar al Oeste. Fuente: Autor.



Figura A13. Módulo de Pruebas Cara Oeste. Fuente: Autor. Programa: Artlantis

La evaluación del dispositivo de control solar al Oeste fue planteada para comprobar la eficiencia sobre el diseño del mismo dispositivo (Figura A12) bloqueando el paso de los rayos del sol por la tarde y hasta que se ponga el sol. La Gráfica de temperaturas de un día particularmente calido (Figura A13) demostró cómo la ganancia solar por parte del MC (sin dispositivo) comienza a las 15:30hrs llegando a un máximo de 48.50°C a las 17hrs. El resto del día la temperatura de ambos módulos permanece similar; con temperaturas promedio de 21.29°C en el MC y 18.82°C en el MP2. El diseño de los partesoles tiene un ángulo de 72° respecto al muro, de esta manera reduce la incidencia solar al interior (Figura A14); al disminuir el área de penetración solar, disminuye la ganancia solar por radiación a través de una superficie transparente (esto es notorio de las 15:30 a 18:30hrs cuando las temperaturas del MC comenzaron a incrementarse respecto a las del MP2 con su dispositivo de control).

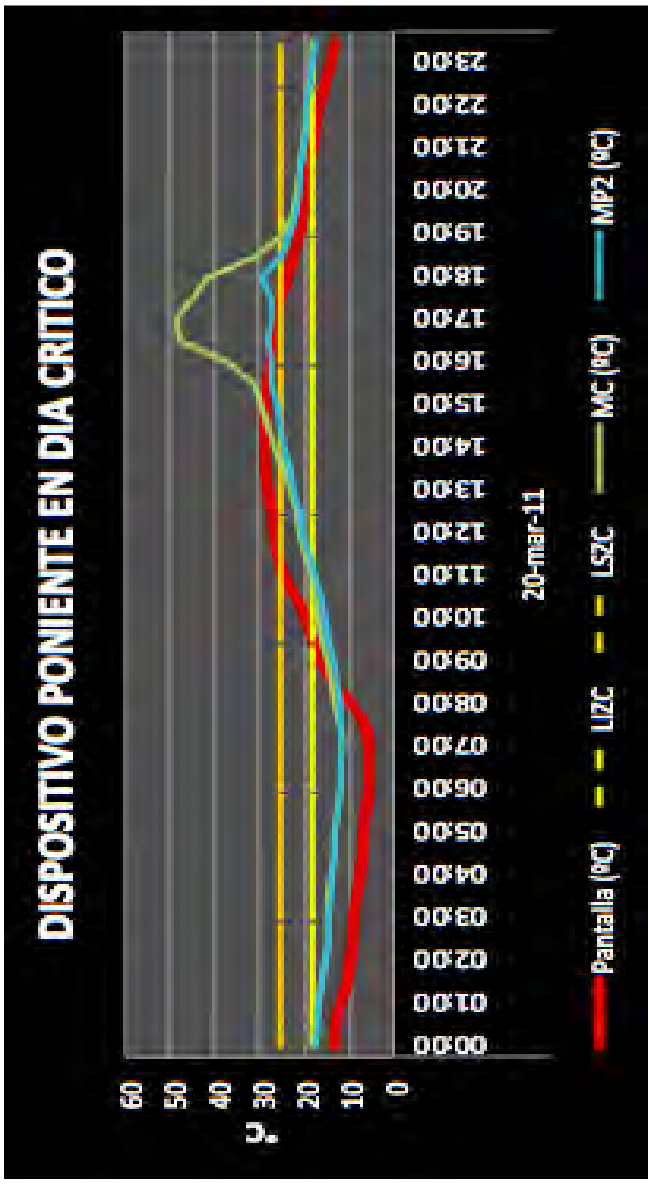


Figura A14. Gráfica de Temperatura de Bulbo Seco en Día crítico (Partesoles). Fuente: Autor.



Figura A15a y b. Partesoles y Penetración Solar al Interior. Fuente: Autor.

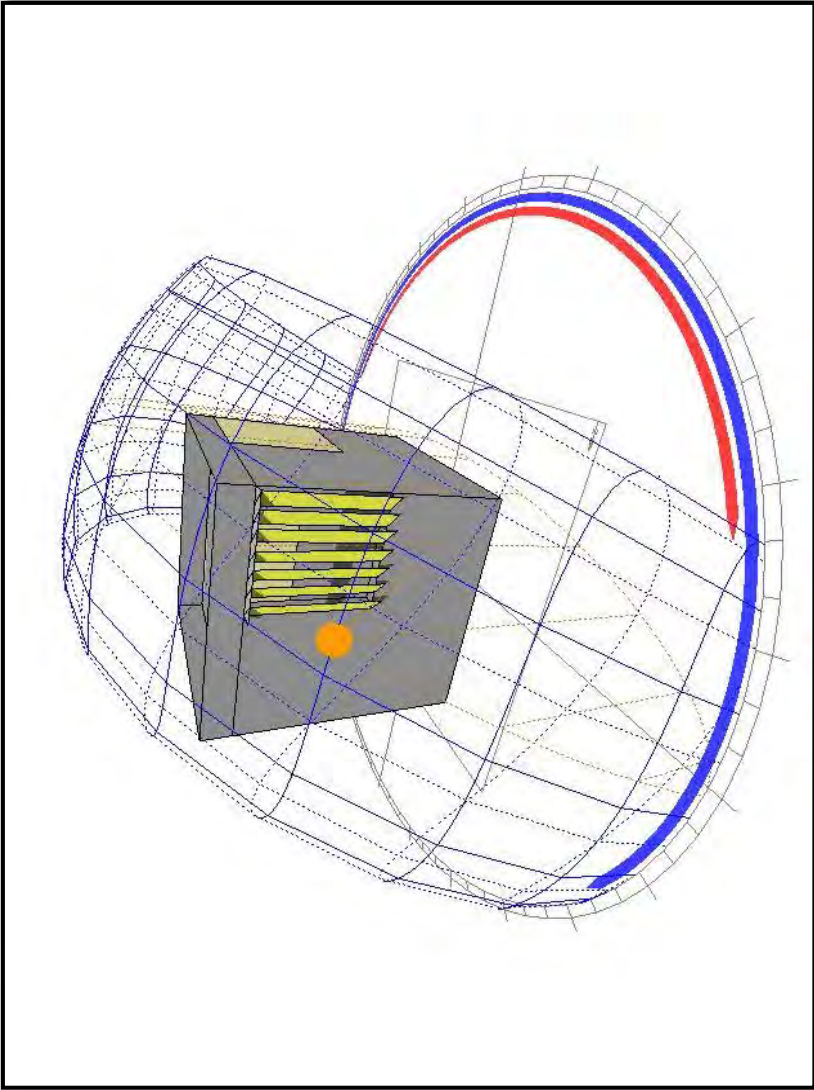


Figura A16. Simulación de Dispositivo Oeste 16hrs. Fuente: Autor.
Programa: Ecotec.

Simulación de Dispositivo de Control Solar en Orientación Oeste

El dispositivo Oeste (Figura A15) fue diseñado con partesoles para bloquear los rayos solares demasiado inclinados del Oeste al atardecer. En la simulación se comprueba que permanece sombreado por la tarde. En lo que respecta al análisis térmico, las temperaturas medias fueron similares tanto en la simulación como en la realidad; mientras que las temperaturas mínimas y máximas presentaron mayor osilacion en la prueba real (Figura A16 y Tabla A2)

	Tbs ext. real	Tbs ext. simulada	Tbs int. real	Tbs int. simulada
Temp. Max.	28.99°C	27.0°C	30.95°C	24.40°C
Temp. Prom	16.58°C	17.29°C	18.08°C	19.55°C
Temp. Min.	3.35°C	7.60°C	9.53°C	17.0°C

Tabla A3. Temperaturas Reales y Simulaciones al Exterior e Interior. Fuente: Autor.

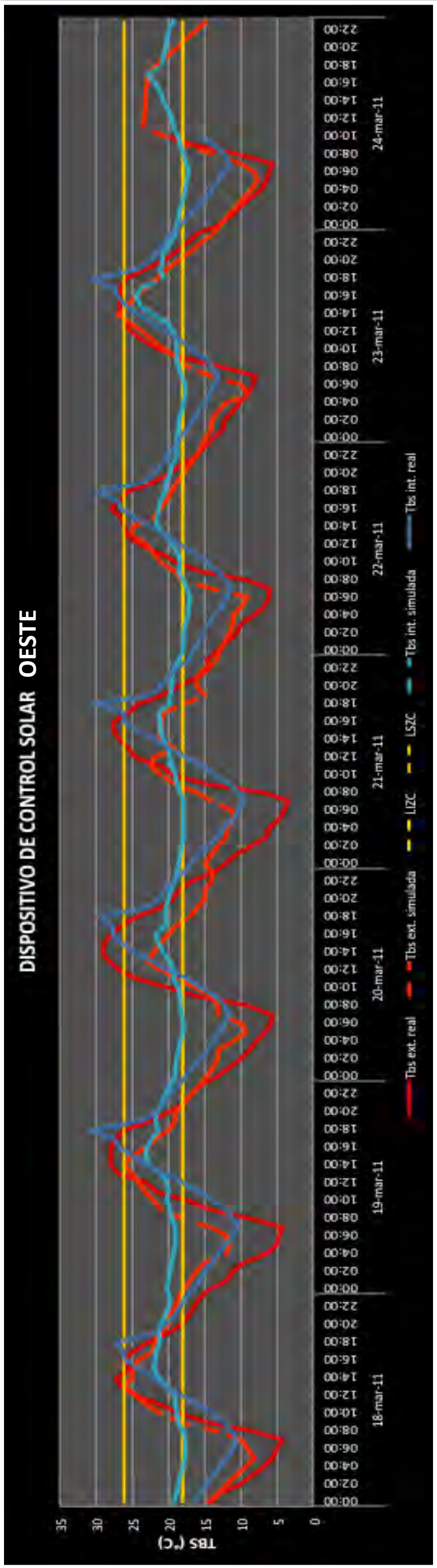


Figura A17. Gráfica de Temperatura de Bulbo Seco Real y Simulada Interior y Exterior durante el Uso de Dispositivo de Control Solar al Oeste. Fuente: Autor.

